

Kunskapsläget på
kärnavfallsområdet 2016
Risker, osäkerheter och framtidsutmaningar

Kärnavfallsrådet (Statens råd för kärnavfallsfrågor) har i upp-
gift att ge regeringen råd i frågor om kärnavfall och rivning av
kärntekniska anläggningar. Rådet är en vetenskaplig kommitté
vars ledamöter är aktiva forskare med sakkunskap inom teknik,
naturvetenskap, etik och samhällskunskap.

I februari varje år publicerar Kärnavfallsrådet en kunskaps-
lägesrapport med rådets självständiga bedömning av viktiga
frågor inom kärnavfallsområdet.

Årets rapport, SOU 2016:16, har titeln *Kunskapsläget på
kärnavfallsområdet 2016. Risker, osäkerheter och framtidsut-
maningar*.

Rapporten utreder ett antal frågor som rådet anser viktiga
att klargöra inom det svenska slutförvarsprogrammet. Dessa
frågor hanteras i följande kapitel:

- Nationell kompetensförsörjning av betydelse för slutförvaret
för använt kärnbränsle
- Om skyldigheter och ansvar vid avveckling och rivning av
kärnkraftsreaktorer
- Etiska perspektiv på avtalet om stöd till kommunerna
- Jordbävningar och jordbävningrisker i Sverige
- Risker och verkan av låga doser på människa och miljö
- Strategier för mätprogram i planerade slutförvarsanlägg-
ningar

Rapporten finns tillgänglig på www.karnavfallsradet.se och
kan även beställas hos karnavfallsradet@regeringskansliet.se.



Fritzes

ett Wolters Kluwer-företag

106 47 Stockholm Tel 08-598 191 90 Fax 08-598 191 91 order.fritzes@nj.se www.fritzes.se

ISBN 978-91-38-24417-3 ISSN 0375-250X



Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2016

Risker, osäkerheter och framtidsutmaningar

Rapport av Kärnavfallsrådet

Stockholm 2016



STATENS OFFENTLIGA
UTREDNINGAR

SOU 2016:16

SOU och Ds kan köpas från Wolters Kluwers kundservice.
Beställningsadress: Wolters Kluwers kundservice, 106 47 Stockholm
Ordertelefon: 08-598 191 90
E-post: kundservice@wolterskluwer.se
Webbplats: wolterskluwer.se/offentligapublikationer

För remissutsändningar av SOU och Ds svarar Wolters Kluwer Sverige AB
på uppdrag av Regeringskansliets förvaltningsavdelning.

Svara på remiss – hur och varför

Statsrådsberedningen, SB PM 2003:2 (reviderad 2009-05-02).

En kort handledning för dem som ska svara på remiss.

Häftet är gratis och kan laddas ner som pdf från eller beställas på regeringen.se/remisser

Layout: Kommittéservice, Regeringskansliet
Omslag: Jonas Nilsson, Miljöinformation AB
Omslagsfoto: Mikael Damkier/Shutterstock
Tryck: Elanders Sverige AB, Stockholm 2016

ISBN 978-91-38-24417-3

ISSN 0375-250X

Till statsrådet och chefen för Miljö- och energidepartementet

Kärnavfallsrådet (Statens råd för kärnavfallsfrågor) är en tvärvetenskaplig kommitté som har i uppdrag att ge regeringen råd i frågor om kärnavfall och rivning av kärntekniska anläggningar. I februari varje 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 (den femtonde i ordningen) SOU 2016:16 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2016. Risker, osäkerheter och framtidsutmaningar*.

Bakom denna rapport står samtliga ledamöter och sakkunniga i Kärnavfallsrådet. Rapporterna om kunskapsläget på kärnavfallsområdet åren 1998, 2001, 2004, 2007, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 och 2015 finns även tillgängliga i en engelsk version. Rådet kommer att ge ut en engelsk översättning av årets rapport under våren 2016.

Stockholm, 29 februari 2016

Carl Reinhold Bråkenhielm
Ordförande

Holmfrídur Bjarnadóttir
Kanslichef

Ledamöter

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

Lena Andersson-Skog, professor i ekonomisk historia, Umeå universitet

Sophie Grape, docent i tillämpad kärnfysik, Uppsala universitet

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

Tuija Hilding-Rydevik, professor i miljöbedömning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala

Karin Högdahl, docent i geologi, Uppsala universitet

Lennart Johansson, adjungerad professor i radiofysik vid Umeå universitet, Norrlands universitetssjukhus

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

Mikael Karlsson, miljöforskare, Kungliga Tekniska högskolan

Jenny Palm, professor i teknik och social förändring, Linköpings universitet

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

Sakkunniga

Hannu Hänninen, professor i maskinteknik, Aalto universitet

Ingvar Persson, f.d. chefsjurist på Statens kärnkraftinspektion

Kansli

Holmfridur Bjarnadóttir, kanslichef

Peter Andersson, kanslisekreterare

Johanna Swedin, biträdande kanslisekreterare

Innehåll

1	Inledning.....	9
1.1	Viktiga händelser inom kärnavfallsområdet i Sverige under 2015.....	9
1.2	Innehållet i årets kunskapslägesrapport	10
1.3	Kärnavfallsrådets arbete och omvärldsbevakning 2015	13
2	Nationell kompetensförsörjning av betydelse för slutförvaret för använt kärnbränsle	21
2.1	Introduktion.....	21
2.2	Kompetensfrågan ur ett slutförvarsperspektiv – behov av framtida kompetensförsörjning.....	23
2.3	Ansvar, koordinering och finansiering	24
2.4	Internationellt perspektiv.....	27
2.5	Slutsats	29
3	Om skyldigheter och ansvar vid avveckling och rivning av kärnkraftsreaktorer.....	31
3.1	Tillståndshavarna till de svenska kärnkraftsreaktorerna.....	31
3.2	Begreppet ”permanent avstängd kärnkraftsreaktor”	33
3.3	Skyldigheten enligt kärntekniklagen att vidta avvecklingsåtgärder	34
3.4	Skyldigheten att ansöka om tillstånd enligt miljöbalken för att få påbörja avveckling och rivning	35

3.5	Skyldigheten att ha ekonomiska resurser och en organisation som kan fullgöra avvecklingsåtgärderna.....	37
3.6	Om finansieringen av avveckling och rivning.....	38
3.7	Osäkerheter i finansieringssystemet	40
3.8	Slutsatser	42
4	Etiska perspektiv på avtalet om stöd till kommunerna....	47
4.1	Inledning	47
4.2	Bakgrundsteorier om kompensation och mervärde	48
4.3	Samarbetsavtal om mervärdesinsatser i Sverige	51
4.4	Internationell jämförelse	53
4.5	Mervärde och etik.....	54
4.6	Etisk analys av SKB:s mervärdesavtal utifrån fem villkor	55
4.6.1	Kommentar till icke-övertalningsvillkoret	57
4.6.2	Kommentarer till minsta möjliga risk-villkoret	60
4.6.3	Kommentar till oberoende-villkoret.....	62
4.6.4	Kommentarer till villkoret om det gemensamma bästa.....	64
4.6.5	Kommentar till villkoret om värdeengagemang....	66
4.7	Slutsatser	68
5	Jordbävningar och jordbävningsrisker i Sverige.....	73
5.1	Bakgrund.....	73
5.2	Orsaken till naturliga jordbävningar	74
5.3	Jordbävningsmagnitud	78
5.4	Jordbävningar i Sverige.....	79
5.5	Slutsats	83

6	Risker och verkan av låga doser på människa och miljö	87
6.1	Introduktion.....	87
6.2	Radiobiologiska och radiofysikaliska grunder	88
6.2.1	Strålningstyper.....	88
6.2.2	Verkan av strålning på celler	91
6.2.3	Effekter på människa och miljö	94
6.2.4	Medicinska och industriella applikationer	96
6.3	Naturlig bakgrundsstrålning	97
6.3.1	Variationer i den naturliga bakgrundsnivån.....	97
6.3.2	Vilka kunskaper om riskerna med ett slutförvar för använt kärnbränsle kan den naturliga bakgrundsstrålningen bidra med?	98
6.4	Stråldos till människa och miljö från slutförvaret för använt kärnbränsle	99
6.4.1	Myndigheternas krav på slutförvaret.....	99
6.4.2	Vägar till exponering	101
6.4.3	Exponeringsscenarioer om de tekniska barriärerna inte håller	103
6.4.4	Strålskydd av miljön	106
6.5	Vad har vi lärt från utsläpp av radionuklider i miljön?	108
6.5.1	Kärnvapentesterna	110
6.5.2	Tjernobyl.....	111
6.5.3	Mayak.....	112
6.5.4	Fukushima.....	112
6.5.5	Övriga.....	113
6.6	Perspektiv i tid på risk för människa	115
6.7	Osäkerheter i riskbedömningen.....	116
6.8	Forskningsfronten	118
7	Strategier för mätprogram i planerade slutförvarsanläggningar	125
7.1	Bakgrund	125
7.2	Processer och värdekedja.....	128

7.2.1	Processen för utformning av övervakningsprogram – ”MoDeRn Monitoring workflow”	129
7.2.2	Värdekedjan.....	131
7.3	Exempel på strategier för övervakning.....	134
7.3.1	Olika typer av övervakningsstrategier	134
7.3.2	Posivas strategi för utveckling av mätprogram i slutförvaret	137
7.3.3	Nagra: Övervakad geologisk förvaring i pilotförvar.....	144
7.4	Planerad fortsatt utveckling inom EU: Modern2020.....	150
7.5	Sammanfattande diskussion.....	152

1 Inledning

1.1 Viktiga händelser inom kärnavfallsområdet i Sverige under 2015

Under 2015 uppmärksammades flera frågor gällande hanteringen av radioaktivt avfall i samhällsdebatten i Sverige. Granskningen av Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) ansökan om att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle i Östhammars kommun och en inkapslingsanläggning i Oskarhamns kommun har fortskridit enligt reviderade tidsplaner. Enligt dessa beräknar Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) och Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt (mark- och miljödomstolen) att lämna sina yttranden till regeringen under 2017.

Strålsäkerhetsmyndighetens sakgranskning av ansökningarna enligt kärntekniklagen pågår och myndigheten kungjorde dem den 29 januari 2016. Myndigheten publicerade under 2015 preliminära resultat från sin pågående granskning i fyra rapporter. SSM har poängterat att de publicerade resultaten är preliminära och att det fortfarande är för tidigt att dra någon slutsats om resultatet av myndighetens samlade bedömning.

Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt kungjorde SKB:s ansökan den 29 januari 2016, samtidigt som SSM. Berörda myndigheter, organisationer och sakägare kan lämna synpunkter i sak till mark- och miljödomstolen senast den 30 mars. Enligt nuvarande tidsplan påbörjas huvudförhandling i oktober 2016.

Kostnadsaspekter på avveckling, rivning och hantering av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall har diskuterats på den publika arenan och av berörda parter. Kärnavfallsfondens årsredovisning 2014 visar att de prognosticerade utbetalningarna för att hantera kärnavfallet vuxit mer än fonden till följd av det låga ränteläget. Enligt Kärnavfallsfondens ordförande Daniel Barr saknas elva

miljarder kronor i fonden som ska finansiera avvecklingen av svensk kärnkraft (DI, 2015-06-26). Besluten om att stänga kärnkraftsreaktorerna Oskarshamn 1 och 2 samt Ringhals 1 och 2 tidigare än planerat kommer att påverka fondens medel. Med anledning av dessa händelser lämnade SSM en skrivelse till Miljö- och energidepartementet den 2 december 2015 om att kärnavfallsavgiften bör höjas.

Behov av kompetens under projektiden för ett slutförvar för använt kärnbränsle har uppmärksammats, d.v.s. den långa tiden från att ett slutförvar eventuellt börjar byggas tills dess det försluts som kommer att kräva kompetens inom slutförvarsområdet i flera generationer framöver. De förseningar som redan har inträffat för hanteringen av ansökan, tillsammans med de politiska beslut som har fattats inom kärnkraftsområdet har även väckt frågan om bevarande av nuvarande kompetens och om framtida kompetensförsörjning. Frågan uppmärksammas i denna rapport gällande kompetensbehov för slutförvarsprojektet.

Hanteringen av låg- och medelaktivt avfall har aktualiseras under året. SKB har lämnat in ansökningar till SSM och mark- och miljödomstolen om att bygga ut Slutförvaret för låg- och medelaktivt kortlivat avfall (SFR). Frågan om möjligheten att ta hand om avfall från avveckling och rivning av avstängda reaktorerna har lyfts med anledning av besluten att tidigarelägga avvecklingen av reaktorer i Oskarshamn och Ringhals. De två reaktorerna i Barsebäck är redan avstängda, men rivning har inte påbörjats i avvaktan på anläggningar som kan ta hand om avfallet. Enligt SKB:s tidsplan kan planerat Slutförvar för långlivat radioaktivt avfall (SFL) tas i drift först 2045.

1.2 Innehållet i årets kunskapslägesrapport

Kärnavfallsrådets uppgift är att ge råd till regeringen bland annat genom att uppmärksamma viktiga händelser inom kärnavfallsområdet och belysa frågor om kärnavfall och om avställning och rivning av kärntekniska anläggningar i en årlig kunskapslägesrapport. Rapporten utreder ett antal frågor som rådet anser viktiga att klargöra inom det svenska slutförvarsprogrammet. Dessa frågor hanteras i följande kapitel:

Nationell kompetensförsörjning av betydelse för slutförvaret

I kapitlet uppmärksammas frågor om kompetensbevarande och kompetensförsörjning inom områden relevanta för ett slutförvar för använt kärnbränsle. En utgångspunkt är den granskning av kompetensbehovet inom strålskyddsområdet som SSM tog fram på uppdrag av regeringen, i syfte att tydliggöra eventuella brister, och vid behov lämna förslag till åtgärder för att långsiktigt säkra strålskyddskompetensen i landet.

Rådet uppmärksammar att rapporten är ett exempel på en större frågeställning som sträcker sig över fler ämnesområden av relevans för planering av slutförvaret för använt kärnbränsle under driftsperioden samt, även efter förslutning, vilket kan ligga 80–100 år fram i tiden. Under denna långa tidsperiod finns behov att täcka kompetens bland tillståndshavare, myndigheter och verksamhetsutövare. Dessutom ställs det krav på universitet och högskolor att de ska kunna leverera utbildningstjänster på en bred front.

Om skyldigheter och ansvar vid avveckling och rivning

Kapitlet beskriver det juridiska regelverket för skyldigheter och ansvar vid avveckling och rivning av kärnkraftsreaktorer. Dessa frågor belyses utifrån kärntekniklagens och miljöbalkens krav, samt utifrån ett ekonomiskt perspektiv.

Exempel på frågor är vilken effekt den förtida stängningen av kärnkraftverk kommer att ha på Kärnavfallsfonden och vilka förutsättningar som finns för ett säkert omhändertagande av radioaktivt avfall och använt kärnbränsle.

Etiska perspektiv på avtalet om stöd till kommunerna

Kapitlet diskuterar de etiska aspekterna av mervärdesinsatser, kompensationsprogram och annat stöd till lokalsamhällen som överväger att delta i samråd om olika slutförvarsprojekt. Frågan om kompensation till de lokalsamhällen som tar på sig uppgiften att slutförvara använt kärnbränsle inom sina geografiska gränser kan avhandlas från många olika utgångspunkter.

Efter en kortfattad genomgång av dessa förhållanden uppmärksammas de etiska frågor som sådana program väcker. Kan man formulera några slags etiska principer för att göra en bedömning? Är de principer som föreslagits tillämpliga – och i så fall hur? Och hur ska man mot denna bakgrund bedöma det svenska mervärdesprogrammet? Genomgången utmynnar i slutsatsen att programmet ur flera perspektiv är etiskt godtagbart och betydelsefullt även om rådet anser att det kan finnas enskilda inslag som är etiskt problematiska.

Jordbävningar och jordbävningrisker i Sverige

Kapitlet beskriver förekomster av och orsaker till jordbävningar i Sverige. Dessa diskuteras i förhållande till SKB:s säkerhetsanalys av ett slutförvar för använt kärnbränsle. Det var en oväntat kraftig jordbävning i Sveg 2014 och kapitlet tar upp hur ett eventuellt jordskalv av den magnituden skulle kunna påverka slutförvaret.

Risker och verkan av låga doser på människa och miljö

Kapitlet belyser de risker och hälsoeffekter som människor och miljön utsätts för vid exponering för låga doser av joniserande strålning. Dessutom ges en översiktlig beskrivning av de kunskaper som ligger till grund för strålskyddets riskuppskattningar och de osäkerheter som finns om riskuppskattning vid exponering för låga doser av joniserande strålning.

I kapitlet beskrivs hur strålningsriskerna uppkommer och hur stora dessa är för människan vid en given stråldos. Risker i samband med strålning från ett slutförvar för använt kärnbränsle behandlas och olika scenarier vad gäller effekter på människa och miljö om gränsvärdena för slutförvaret skulle överskridas upp till tusen gånger. I kapitlet diskuteras även vad man kan lära sig av tidigare utsläpp av radioaktiva ämnen till miljön, avsiktliga eller oavsiktliga, med fokus på kärnkraftshaveriet i Tjernobyl och utsläppen i södra Uralbergen. Slutligen beskrivs de frågor som internationellt har legat till grund för de senaste trettio årens forskning inom området och hur forskningsfronten ser ut vad gäller strålskyddsforskning.

Strategier för mätprogram i planerade slutförvarsanläggningar

Frågan om mätningar och övervakning av slutförvarsanläggningar har uppmärksammats av rådet i tidigare rapporter och seminarier. I förra årets kunskapslägesrapport diskuterades mätprogram för övervakning i förslutna områden. Fokus låg då på internationellt arbete att utveckla ny mätteknik och planera för tekniska installationer i förslutna områden för att mäta tillståndet hos de tekniska barriärerna och i berget i den störda zonen.

Årets rapport fokuserar på strategierna för övervakning. Viktiga frågor är varför mätningar i förslutna områden behövs, efter vilka principer sådana program kan utformas och hur resultaten från programmen kan användas, men också hur konflikt med föreskrifter om passiv långsiktig säkerhet kan undvikas. Utgångspunkt för diskussionerna är genomförda och planerade EU-projekt, men dessutom har studiebesök gjorts vid Posivas demonstrationsförvar i Finland och planerna för övervakning i Schweiz har studerats.

Detta kapitel är författat av Willis Forsling och Clas-Otto Wene, tidigare ledamöter i Kärnavfallsrådet.

1.3 Kärnavfallsrådets arbete och omvärldsbevakning 2015

Rådets sammansättning har ändrats under året med tillkommande av två nya ledamöter, Ingmar Persson, professor i oorganisk och fysikalisk kemi vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Uppsala och Mikael Karlsson, miljöforskare på KTH. Karin Högdahl önskade vid årsskiftet 2015/2016 entledigande från rollen som rådets vice ordförande men fortsätter som ordinär ledamot i rådet. En ny vice-ordförande har ännu inte utsetts.

Kunskapslägesrapport 2015

Kärnavfallsrådet ska enligt direktiv 2009:31¹ redovisa föregående års arbete och sin självständiga bedömning av det aktuella läget inom kärnavfallsområdet i en årlig kunskapslägesrapport. Förra årets kunskapslägesrapport (Kärnavfallsrådet, 2015a) lämnades i februari över till statssekreteraren Yvonne Ruwaida på Miljö- och energidepartementet. Kunskapslägesrapporten presenterades på ett öppet seminarium i Stockholm i mars 2015. Rådet gav ut nyhetsblad från seminariet, bland annat om kärnämneskontroll, mätprogram, informations- och kunskapsbevarande och kostnadsberäkningar. Rådet presenterade även kunskapslägesrapportens innehåll vid ett öppet seminarium i Östhammars kommun i maj.

SKB:s ansökan om slutförvar för använt kärnbränsle

Rådet har under 2015 fortsatt att följa hanteringen av SKB:s ansökan om tillstånd för att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle. Rådet lämnade sina synpunkter till Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt den 26 juni med förtydliganden av tidigare inlämnade synpunkter på behov av kompletteringar av ansökan. I rådets yttrande återkom flera av de synpunkter som rådet tidigare uppmärksammat, framför allt synpunkten att ansökningshandlingarna som lämnats till mark- och miljödomstolen för prövning enligt miljöbalken ska innehålla samma uppgifter som de handlingar som har lämnats till SSM för prövning enligt kärntekniklagen. Detta gäller även de kompletteringar som SKB har lämnat till SSM.

¹ Rådet ska även 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 och bör även följa och vid behov delta i internationella organisationers arbete i kärnavfallsfrågan.

SKB:s ansökan om att bygga ut Slutförvaret för kortlivat låg- och medelaktivt avfall (SFR)

SKB lämnade in en ansökan om att bygga ut Slutförvaret för kortlivat låg- och medelaktivt avfall (SFR) i slutet av 2014 till Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt och till SSM. Det nya förvaret kommer huvudsakligen att utgöra ett slutförvar för kortlivat låg- och medelaktivt radioaktivt avfall, men ska även utnyttjas som ett mellanlager för långlivat låg- och medelaktivt avfall i avvaktan på att slutförvaret för långlivat radioaktivt avfall (SFL) tas i drift, som enligt SKB planeras om ca 30–50 år.

Kärnavfallsrådet har följt arbetet och lämnat synpunkter på behov av kompletteringar till mark- och miljödomstolen i februari och till SSM i september 2015. I yttrandet till mark- och miljödomstolen återkom rådet med synpunkten som det tidigare framfört i yttranden till SKB, att ansökan bör hanteras som en nybyggnation med ny verksamhet och inte endast en utbyggnad av befintlig verksamhet (Kärnavfallsrådet, 2011, 2014, 2015b). Denna skillnad i definition är väsentlig för den fortsatta processen eftersom en nybyggnation kräver regeringens tillåtlighetsprövning och vidare ges en möjlighet för Östhammars kommun att säga ja eller nej till byggnationen (17 kap. 6 § miljöbalken). Östhammars kommun har framfört samma åsikt i sina yttranden.

I yttrandet till SSM framförde rådet bl.a. synpunkten att SKB inte presenterar någon alternativ lösning för hur de hanterar det långlivade avfallet som är planerat att mellanlagras i SFR om SFL inte byggs eller blir mycket försenat (Kärnavfallsrådet, 2015c).

Löpande verksamhet, möten och seminarier

Rådet har haft 6 rådsmöten och ett flertal möten med sina målgrupper bland annat med SSM, kommuner, Miljö- och energidepartementet, Centerpartiet, och ett rundabordsamtal med organisationer finansierade av Kärnavfallsfonden.

Kunskapslägesrapporten 2015 presenterades vid ett öppet seminarium i Stockholm den 24 mars och nyhetsbrev publicerades från seminariet. Rådet arrangerade i samarbete med Nationalkommittén för strålskyddsforskning vid Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) seminariet den 3 november 2015: *Strålningsriskerna för*

slutförvar för använt kärnbränsle. Vad blir konsekvenserna för människor och biota om dosgränsen överskrids? Kapitel 6 i årets rapport bygger delvis på detta seminarium, liksom Nyhetsblad 2015:2 *Viktigt med forskning om risker vid låga stråldoser* som finns tillgängligt på rådets webbplats.

Genom dessa möten och publikationer har rådet möjlighet att uppmärksamma och utreda kärnavfallsfrågor.

Omvärldsbevakning

Den internationella dialogen är en viktig del av Kärnavfallsrådets verksamhet och rådet har fört diskussioner med bl.a. rådgivande organisationer i andra länder.² Rådets ledamöter åkte i oktober på studieresa till Tjeckien och träffade den statliga kärnavfallsorganisationen Radioactive Waste Repository Authority (SÚRAO) som ansvarar för hantering och slutförvaring av radioaktivt avfall och använt bränsle, den tjeckiska strålskyddsmyndigheten, State Office for Nuclear Safety (SÚJB) och en tvärvetenskaplig referensgrupp som deltar i den pågående samrådsprocessen.

Rådets ledamöter har deltagit i olika internationella konferenser, bl.a. Waste Management (WM) Conference som hålls årligen i Phoenix och ett seminarium anordnat av NWTRB i Washington i november om ett forskningsprojekt om djupa borrhål för slutförvaring av radioaktivt avfall.

Rådets har även deltagit inom OECD:s kärnenergiorgans (Nuclear Energy Agency) arbete i samband med hantering av kärnavfall, framför allt i arbetsgruppen *Forum on Stakeholder Confidence*, där rådets kanslichef, Holmfridur Bjarnadottir, är ordförande.

Rådet har bidraget med erfarenheter till den brittiska slutförvarsprocessen där ledamot Karin Högdahl, är medlem i granskningspanelen *Geological Society's National Geological Screening Independent Review Panel* och rådets kanslichef är medlem i arbetsgruppen *Community Representation Working Group* (CRWG) under Department of Energy and Climate Change.

² Advisory Bodies to Government (ABG).

Internationella händelser

Finska regeringen beviljar Posiva Oy tillstånd

Den finska regeringen beviljade Posiva Oy tillstånd den 12 november 2015 att bygga en inkapslings- och slutförvaringsanläggning för använt kärnbränsle på Olkiluoto.³

Posiva ansöker om att uppföra en slutförvaringsanläggning för använt kärnbränsle på halvön Olkiluoto i Euraåminne kommun i västra Finland. Posiva har byggt en forskningstunnel nära Olkiluoto i Onkalos berggrund, som enligt planerna också ska bli en del av slutförvaret.

Posiva Oy ägs av två av de finska kärnkraftsreaktorägarna, Teollisuuden Voima Oy (60 procent) och Fortum Power & Heat Oy (40 procent). Företaget ansvarar för att ta hand om ägarnas använda kärnbränsle i likhet med SKB:s uppdrag. Posivas ansökan för slutförvaring för använt kärnbränsle bygger till stor del på den svenska KBS-3-metoden och de har haft ett nära forsknings-samarbete med SKB. Det finska slutförvarsprojektet redogörs för i kapitel 7 i samband med diskussion om strategier för mätprogram i förslutna områden. Regeringen förenade byggnadstillståndet med flera villkor. I samband med ansökan om driftstillstånd ska Posiva lämna utredningar av miljökonsekvenser, återtagbarheten av använt kärnbränsle och riskerna med transporter samt eventuella ändringar som gjorts i projektet.

Workshop om djupa borrhål, Washington 20–22 oktober

Den 20–22 oktober 2015 anordnade The US Nuclear Waste Technical Review Board (NWTRB) en workshop i Washington DC med titeln International Technical Workshop on Deep Borehole Disposal of Radioactive Waste. Syftet var att få information om de planer som Department of Energy (DOE) har med det djupa borrhålprojekt som startade 2015. NWTRB:s syfte var också att utforska vilka expertkunskaper som finns om djupa borrhål i och utanför USA. Från Sverige deltog Kärnavfallsrådet, Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (MKG), SKB och SSM.

³ Pressmeddelande 2015-11-12: <http://valtioneuvosto.fi> (hämtad 2015-12-01).

Under 2015 påbörjade DOE ett projekt där de planerar att borra två borrhål i kristallint berg ner till 5 000 m. Det första borrhålet ska vara ca 22 cm i diameter på 5 000 meters djup. Där ska man undersöka geologin, geokemin och hydrologin. DOE planerar även att borra ytterligare ett hål ner till 5 000 meters djup, detta med en bottendiameter på ca 43 cm. Syftet med det större borrhålet är att utvärdera borrhåtmeter och kostnader för att borra till dessa djup. Inget avfall ska placeras i något av borrhålen. Som en del av projektet ska man även utvärdera kapselmateriell, deponering, tätning och förslutning. DOE planerar att påbörja borrhållarna under hösten 2016. Projektet ska pågå i fem år och har i nuläget en budget på totalt 80 miljoner dollar.

DOE undersöker djupa borrhål eftersom de vill utvärdera om det är möjligt att slutförvara bland annat cesium och strontium i ett slutförvar enligt konceptet djupa borrhål. De mängder av detta avfall som det är frågan om i USA skulle få plats i ett borrhål. Kärnavfallsrådet följer DOE:s projekt och övrig forskning kring djupa borrhål. Rådets gav en översikt över kunskapsläget om djupa borrhål i kunskapslägesrapporten 2014.

Referenser

- Kärnavfallsrådet. 2015a. SOU 2015:11 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2015 – Kontroll, dokumentation och finansiering för ökad säkerhet*. Stockholm: Fritzes.
- Kärnavfallsrådet. 2015b *Kärnavfallsrådets synpunkter på behov av kompletteringar av Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) ansökan angående utökad verksamhet vid anläggningen för slutförvaring av låg- och medelaktivt avfall (SFR) m.m. i Forsmark, Östhammars kommun, Uppsala län*. (Dnr 3/2015).
- Kärnavfallsrådet. 2015c. *Kärnavfallsrådets synpunkter på behov av kompletteringar av Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) ansökan angående utökad verksamhet vid anläggningen för slutförvaring av låg- och medelaktivt avfall (SFR) m.m. i Forsmark, Östhammars kommun, Uppsala län*. (Dnr 21/2015).
- Kärnavfallsrådet. 2014. *Uppförande av anläggning i Forsmark för slutförvar för kortlivat radioaktivt avfall (SFR)*. (Dnr 16/2014).

Kärnavfallsrådet. 2011. *Kärnavfallsrådets synpunkter på SKB:s samråd om uppförande av anläggning för slutförvar för kortlivat radioaktivt avfall.* (Dnr 60/2011).

2 Nationell kompetensförsörjning av betydelse för slutförvaret för använt kärnbränsle

Det här året vill vi speciellt uppmärksamma behovet av nationell kompetensförsörjning inom områden som är relevanta för ett svenskt geologiskt slutförvar för använt kärnbränsle. Vi inom Kärnavfallsrådet upplever att det är en fråga som saknar nationell koordinering och styrning, trots långtgående planer på att under det här seklet starta upp både inkapslingsaktiviteter och driftläge i ett slutförvar. Detta är ett stort åtagande med nationellt ansvar som spänner över lång tid. För att trygga lagstadgad säkerhet är det av yttersta vikt att Sverige som nation under denna tid kan garantera att det finns kompetens inom landet för de frågeställningar som är och förväntas bli aktuella.

Syftet med kapitlet är att lyfta diskussionen om nationell kompetensförsörjning, snarare än att ge en uttömmande beskrivning av vilka dessa kompetenser är, eller hur de ska hanteras.

2.1 Introduktion

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) publicerade under 2015 rapporten *Nationell kompetens inom strålskyddsområdet* (SSM, 2015) som resultat av ett regleringsbrevsuppdrag. Syftet var att tydliggöra eventuella brister i kompetens inom strålskyddsområdet, och vid behov lämna förslag till åtgärder för att långsiktigt säkra strålskyddskompetensen i landet. Rapporten pekar på att det inom strålskyddsområdet nationellt finns ett flertal brister:

- I. Det är för få av SSM:s anställda som har kunskap om strålskydd på en hög internationell nivå. Dels saknas spetskompetens, dels finns ett par utpekade områden som SSM i dag inte har någon kompetens inom. Risken är att viktiga frågor inte identifieras, värderas eller löses, att faktiska skador kan uppstå och att förtroendet för myndigheten minskar.
- II. I verksamheter med behov av strålskyddskompetens noterar författarna att forskning och utbildning inom vissa relevanta områden har minskat vilket gör kompetensbasen smal. Samtidigt har andra tidigare utpekade kompetensbrister i viss mån mildrats med särskilt riktade medel.
- III. Inom forskning och utbildning pekar författarna på att utbildningsmöjligheterna inom en del forskningsområden har minskat och nu bedöms som underkritiska. Forskningen utförs av små grupper eller enstaka forskare med mycket begränsad finansiering. Att strålskydd är ett tvärvetenskapligt ämne och inte ett eget ämne, tror rapportens författare kan resultera i att det blir svårare att hävda sig i konkurrensen om resurser.

Rapporten fokuserar på kompetens inom strålskyddsområdet där bland annat strålningsbiologi, radioekologi och strålningsdosimetri pekas ut som särskilt kritiska vad gäller ämnenas fortlevnad. Rapporten har väckt tankegångar inom Kärnavfallsrådet, som diskuterat i vilken utsträckning problematiken som rapporten pekar på existerar även inom andra områden. Den är sannolikt ett smalt utsnitt ur en mycket större frågeställning. Som exempel på ett annat utsatt område, om vilket ingen utredning gjorts, nämner vi här kärn- och lösningskemiområdet. Sverige var världsledande inom området lösningskemi fram till 1980-talet men i dag är den mycket höga kompetensen som då fanns i princip uttraderad, med undantag av Chalmers och enstaka forskare vid andra universitet som dock befinner sig i slutet av sina karriärer. Detta leder i sig till ett kompetensproblem för framtiden.

Bland kemiinstitutioner på svenska universitet är det i dag endast Institutionen för kemi- och kemiteknik vid Chalmers som har ett laboratorium som uppfyller kraven för att arbeta med starkt

radioaktiva isotoper. Vid detta laboratorium är kompetensen hög för arbete med material som är centralt för kärnavfallsfrågor. Finansieringen av denna verksamhet är i dag i hög grad beroende av externa anslag inom EU-projekt på grund av att det tidigare stödet från bland annat Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) drastiskt har minskat. Chalmers och Kungliga Tekniska högskolan (KTH) har båda forskarutbildning i ämnet kärnkemi. Utöver detta ges i dag inte längre regelbundna kurser inom lösnings- eller kärnkemi på grundläggande nivå vid något svenskt universitet. Det ges inte heller regelbundna kurser inom dessa områden vid forskarutbildningarna vid Chalmers och KTH utan endast vid behov internt.

Chalmers har nyss anmält sitt intresse till Vetenskapsrådet att få ansöka om att bygga upp en infrastruktur av nationellt intresse, för att underlätta för andra lärosäten vad gäller arbete med radioaktivitet. Sveriges kompetens inom området kärnkemi är alltså i hög grad beroende av verksamheten vid Chalmers, och i viss mån vid KTH.

2.2 Kompetensfrågan ur ett slutförvarsperspektiv – behov av framtida kompetensförsörjning

Precis som i strålskyddsrapporten (SSM, 2015) kan vi konstatera att utbildning och forskning är synnerligen viktigt för att långsiktigt kunna upprätthålla en tillfredställande nationell kunskapsbas. Dessutom är kopplingen mellan utbildning och forskning central för att kvaliteten av och relevansen för utbildningen ska upprätthållas.

Våra forskare vid universitet och högskolor har i uppdrag att undervisa, forska och att bedriva den så kallade 3:e uppgiften, det vill säga att delge det omgivande samhället relevant och vetenskapligt grundad information. Forskningen är av central betydelse då den bidrar till kunskapsutveckling och kompetenstillväxt. Forskningsuppdraget är en huvudanledning till att kompetent personal söker sig till, eller stannar kvar vid, svenska universitet och högskolor vilket också ger förutsättningarna att bedriva utbildning av både grundutbildningsstudenter och doktorander, samt utföra 3:e uppgiften. Utan medel till forskning finns således varken förutsätt-

ningar för att upprätthålla dagens kompetensnivå eller för att utveckla den.

Grundutbildning, forskarutbildning och uppdragsutbildning/fortbildning är olika typer av utbildningar som bedrivs av universitet och högskolor. Grundutbildningen innefattar utbildning på grundnivå, och leder till en kandidat-, magister- eller civilingenjörsexamen. Forskarutbildning är den utbildning inom ett speciellt område som leder till en doktorsexamen, och uppdragsutbildning/fortbildning är utbildning med ett visst fokus som ges i syfte att bygga upp kompetensen hos deltagare inom ett utvalt område.

Det är viktigt att vi nationellt kan leverera alla dessa olika typer av utbildning för att kunna förse tillståndshavare, myndigheter och samhället i stort med välutbildad och kompetent personal. Det kräver forskare och lärare vid universitet och högskolor som kan leverera sådana utbildningstjänster. Detta är viktigt både då slutförvaret planeras och då det är i drift, men också efter slutlig förslutning. Man ska inte heller glömma bort att kompetensen som kan anses vara relevant för ett slutförvar också har bäring på många andra områden i samhället, oavsett om den rör samhällsvetenskapliga, naturvetenskapliga eller tekniska områden.

2.3 Ansvar, koordinering och finansiering

Ansvar

Enligt beskrivningen ovan, som är långt ifrån fullständig, finns det uppenbara risker att kompetensen inom centrala områden för kärnavfallshanteringen i Sverige håller på att urholkas beroende på minskat forskningsstöd och ett tydligt minskat utbud av kurser inom dessa områden på svenska universitet och högskolor. Mot bakgrund av detta kan det vara motiverat att svenska myndigheter bör se över den rådande situationen, där ingen statlig finansär verkar ta ansvar för att i första hand bibehålla kompetens och i andra hand att bygga upp kunskap inom dessa områden. Utan åtgärder ökar risken att vi i framtiden befinner oss i en situation där experterna inom akademien lämnat forskningsfältet p.g.a. utebliven forskningsfinansiering. Detta vore i sin tur förödande för utbildningen av framtidens yrkesverksamma människor och för det framtida (forsknings)samhället.

Redan i dag är situationen sådan att ingen har helhetsansvaret för denna fråga, och åsikten att det är någon annans ansvar verkar utbredd. Rådet kan inte enkelt besvara frågan om varför det har blivit så här, men lämnar det öppet för att regeringen kanske behöver vara tydligare i sina instruktioner till SSM när det gäller hanteringen av frågan om kompetensförsörjning.

Koordinering

Strålskyddsrapporten (SSM, 2015) är ett tydligt och bra exempel på ett kompetensområde som uppmärksammas nationellt i syfte att överbrygga eventuella brister. Även utbildning och kompetens inom kärnteknikområdet på lärosätena KTH, Chalmers och Uppsala universitet har belysts av SSM och där noteras att forskningsmedlen redan har minskat, och att de kan komma att minska ytterligare framöver. Situationen beskrivs som snarlik den på 1990-talet när industrin beslöt att stötta upp akademien, men nu med skillnad att elbolagen går med förlust och inte har samma möjlighet till understöd. SSM kommer i rapporten med rekommendationer om bl.a. ökat stöd till lärosätena, och pekar på att riktade satsningar eventuellt kan behöva göras för att locka lovande studenter till doktorandutbildning.

Även om det är ovanligt med nationella och koordinerade genomgångar, är det vanligt förekommande att olika verksamheter gör egna kompetensanalyser och att man till viss del utbildar internt för att bättra på kompetensen. Ur detta perspektiv väcker rapporten ett antal nya frågeställningar, varav den mest uppenbara är *Hur många andra områden finns det med betydelse för slutförvarsfrågan, som också skulle behöva en liknande genomgång?*

Man kan ha olika inställningar i den här diskussionen. En är att förlita sig på att olika aktörer med anknytning till slutförvaret gör egna (interna) analyser av kompetensbehov. Om allt går som det ska leder detta till att brister uppmärksammas och åtgärdas och att behoven på sikt täcks, om de kvarstår. Vidare, kan man förlita sig på att forskarna vid universiteten och högskolorna, vilka levererar specialistkompetens vid behov och kontinuerligt ger samhället slutförvarsrelevanta utbildningar och fortbildningar, på egen hand klarar av att hitta tillräcklig finansiering för att fortsätta existera?

Svårigheterna uppstår ju inte om allt går som det ska, utan om det av någon anledning brister någonstans. Om aktörerna i branschen förlitar sig på internutbildningar – hur gör man om kunskapen inte finns ”in-house”? Hur får man tillgång till nya forskningsrön och i vilken utsträckning kan man tillgodogöra sig dessa, hur offentliga blir dessa resultat och i vilken mån är ny kunskap granskad och ifrågasatt i lika stor grad som vetenskapliga resultat är i dag? Och vad gör vi om kompetensen hos specialisterna vid universitet och högskolor inte längre finns kvar eller är på för låg nivå p.g.a. neddragningar, att forskare sökt sig utomlands eller till andra områden och om specialister inom företag och myndigheter gått i pension?

En framtid med ett slutförvar för använt kärnbränsle, men där vi saknar nationell kompetens på området liksom utbildningar inom relevanta områden, ter sig mycket oroande. För att undvika att hamna i en sådan situation måste vi se till att skaffa oss en helhetsbild där behovet av en viss kompetens kopplas till att det faktiskt finns någon som kan leverera den kompetensen.

Finansiering

Forskning vid svenska universitet och högskolor finansieras på olika sätt. Internt finns t.ex. fakultetsmedel och undervisningsmedel, men dessa medel är för de allra flesta mycket begränsade och täcker endast en mindre del av lönekostnader och övriga kostnader.

Majoriteten av forskningsmedel kommer ofta från externa forskningsfinansiärer. Stora svenska forskningsfinansiärer är till exempel Vetenskapsrådet, Stiftelsen för strategisk forskning, Formas, Vinnova och Energimyndigheten. Vad gäller forskningsmedel för strålskyddsforskning är Strålsäkerhetsmyndigheten av betydelse om än i begränsad omfattning. De olika finansiärerna har olika krav på forskningen för att finansiera den. Alla finansiärer premierar projekt med stor forskningshöjd (excellens). Vissa finansiärer ger primärt pengar till grundforskning och inte forskning med en specifik applikation i syfte dit ett slutförvar för använt kärnbränsle räknas, andra finansiärer belönar nya innovationer och entreprenörskap, vilket inte heller kan sägas passa slutförvars-

området speciellt bra. Energimyndigheten finansierar i princip all energirelaterad forskning utom den som är fissionsrelaterad, vilket av många kan uppfattas som märkligt. Det gäller även för vissa av Vetenskapsrådets utlysningar att fissionsrelaterad forskning inte ingår. SSM däremot finansierar teknisk forskning och naturvetenskaplig forskning inom slutförvarsnära frågeställningar, och i viss utsträckning även samhällsvetenskaplig forskning via MTO-frågeställningar¹. SSM:s budget är dock så begränsad att de knappast ensamt kan axla hela ansvaret för frågan om kompetensförsörjning inom den stora samhällsfråga som ett slutförvar för använt kärnbränsle utgör.

Sammanfattningsvis beror den uppkomna bristen på kompetens i slutförvarsrelaterade frågor på att det saknas en strategi för finansiering av forskning i detta tvärvetenskapliga område. Är denna situation rimlig och vem tar ansvar för konsekvenserna?

2.4 Internationellt perspektiv

Internationella nätverk

Kärnkemiområdet har ett omfattande europeisk nätverk, som i sin tur har goda kontakter med främst Japan och USA. Det europeiska nätverket har varit framgångsrikt i att erhålla EU-medel, vilket har varit en förutsättning för verksamheten i Sverige eftersom stödet från svenska forskningsfinansiärer för tillfället är svagt.

Utbildning inom strålskydd i Europa

Inom Europa har problemen med kompetensförsörjning inom strålskydd uppmärksamats och bland annat lett till olika utbildningsinitiativ inom ramen för Euratom-programmet² vilket diskuteras närmare nedan. Problemen beror på att antalet länder i Europa med egen forskning inom strålskydd har reducerats drastiskt under det senaste decenniet. Inom vissa områden som radioekologi är nedgången särskilt markant men också inom radiobiologi minskar

¹ Frågeställningar om hur människan, tekniken och organisationen (MTO) samverkar.

² Europeiska atomenergigemenskapens (Euratom) ramprogram för forskning och utbildning på kärnenergiområdet.

antalet forskargrupper i Europa. I flertalet europeiska länder är situationen ännu mer problematisk än den som gäller för Sverige vilket har lett till att program för kompetensutveckling i strålskyddsrelaterade frågor har initierats av Euratom under de senaste 6 åren.

Euratom är den enskilt största finansiären vad gäller strålskyddsforskning som riktas till universitet och forskningsinstitutioner i Europa. Europeiska Kommissionen gör fleråriga satsningar som benämns ramprogram och det nu gällande ramprogrammet, som ersätter ramprogram 7, benämns Horizon 2020 vilket inkluderar Euratoms forskningssatsningar. Euratom har flera programområden varav NFRP7 har speciell bäring för kompetensutveckling rörande frågor som relaterar till slutförvar för använt kärnbränsle.

Under NFRP7 har befintliga medel för 2015 tilldelats ett konsortium benämnt CONCERT³ som ska utlysa forskningsprojekt men även medel för utbildningssatsningar i form av kurser. Detta program kan ses som en fortsättning på det utbildningsprogram som startades under FP7 och inom ramen för ett projekt benämnt DoReMi⁴ där kurser inom olika områden av strålskyddsforskning har erbjudits.

Syftet med dessa satsningar är i första hand att ge länder som saknar egna utbildningsprogram en möjlighet upprätthålla en viss baskompetens i strålskyddsfrågor.

De forskningsmedel som utlyses genom CONCERT fördelas i hård konkurrens mellan olika forskargrupper inom EU. De länder som har egna nationella program inom strålskyddsområdet har tydliga fördelar vad gäller förutsättningarna att konkurrera om dessa forskningsmedel. Detta ökar ytterligare klyftorna inom EU vad gäller nationell strålskyddskompetens där ett litet antal länder är framgångsrika vad gäller anslagstilldelning.

Merparten av dessa anslag hamnar i Frankrike, Tyskland, Belgien och England, hos de nationella strålskyddsmyndigheterna, medan anslagen till universiteten i Europa har minskat. Detta har redan lett till att den nationella utbildningskapaciteten i strålskydd

³ http://www.concert-h2020.eu/en/Calls/ET_Call_2015 (hämtad 2015-12-01).

⁴ http://www.doremi-noe.net/training_and_education.html (hämtad 2015-12-01).

har minskat, även vad gäller de ovan nämnda länderna, då denna i huvudsak bedrivs inom ramen för universitetens verksamhet.

För att uppnå den kompetensnivå som behövs för uppbyggnad och underhåll av ett slutförvar för använt kärnbränsle krävs nationella forskningsprogram inom naturvetenskap, humaniora och samhällsvetenskap i kombination med en strategi för kunskapsöverföring och kunskapsbevarande.

2.5 Slutsats

För att återgå till sakfrågan om kompetensförsörjning inom områden som är relevanta för kärnavfallsfrågan, kan man snabbt konstatera att det verkar finnas brister inom områden som är centrala på både kort och lång sikt. Kärnavfallsrådet finner det därför angeläget att någon myndighet får ett uppdrag att göra en genomgång av de kompetensområden som är nödvändiga för ett säkert svenskt geologiskt slutförvar för använt kärnbränsle, och ge en översikt av utbildnings- och forskningskvaliteten inom dessa kompetensområden vid svenska universitet och högskolor. Med en sådan genomlysning av kompetensbehovet och tillgänglig kompetens inom landet bör det finnas underlag för en bred diskussion, inkluderande även regeringskansliet, för eventuella resursförstärkningar till forsknings- och utbildningsområden som inte anses svara upp mot de strålskydds krav som ställs för ett geologiskt slutförvar för använt kärnbränsle.

Detta bör göras skyndsamt då vi ser att befintliga experter och forskare söker sig till andra områden, platser eller pensioneras. Det är en stor kompetensförlust, som i sin tur leder till följdverkningar när inte adekvat utbildning och fortbildning av nya experter kan ske. Dessutom riskerar man att hamna i ett läge där riktade medel blir utlysta alltför sent, så att de inte kommer till godo eftersom det inte längre finns några forskare eller forskargrupper kvar som kan söka dem.

I egenskap av rådgivare till regeringen erbjuder sig Kärnavfallsrådet att bidra till i den viktiga processen att säkra försörjningen av kompetens inom kärnavfallsområdet.

Referenser

SSM. 2015. Bilaga 2 Rapport av Regleringsbrevsuppdrag
Nationell kompetens inom strålskyddsområdet. (SSM2014-1013-2).
Strålsäkerhetsmyndigheten.

3 Om skyldigheter och ansvar vid avveckling och rivning av kärnkraftsreaktorer

I samband med Kärnavfallsrådets offentliga utfrågning om rivning av nedlagda kärntekniska anläggningar i Sverige som hölls den 11 december 2007 (Kärnavfallsrådet, 2007) uppkom frågan hur en kärnkraftsreaktor som varaktigt stängts av och är under avveckling ska definieras. Med andra ord: när upphör en kärnkraftsreaktor att vara en kärnkraftsreaktor?

I svaret på frågan hänvisades till EU:s så kallade MKB-direktiv. Enligt direktivet upphör kärnkraftverk och andra kärnreaktorer: ”att vara sådana anläggningar när allt kärnbränsle och annat radioaktivt kontaminerat material varaktigt har avlägsnats från anläggningsplatsen” (Rådets direktiv 97/11/EG, bilaga 1, punkt 2).

Detta betyder att allt använt kärnbränsle och radioaktivt kontaminerat material, som t.ex. delar av reaktorinneslutningen, måste vara borttaget och placerats i ett slutförvar, eller alternativt, i ett mellanlager i avvaktan på slutförvaring. Först då upphör reaktorn att existera.

Detta kapitel är en uppföljning av utfrågningen som hölls för åtta år sedan.

3.1 Tillståndshavarna till de svenska kärnkraftsreaktorerna

Lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) gäller kärnteknisk verksamhet. Lagen använder begreppet ”kärnteknisk verksamhet” som ett samlingsbegrepp för vad lagen omfattar. Begreppet är av central betydelse för lagens systematik och

avgränsning och är särskilt viktigt eftersom det är förbjudet att bedriva kärnteknisk verksamhet utan tillstånd.

Drift av kärnkraftsreaktorer är kärnteknisk verksamhet som alltså kräver tillstånd enligt kärntekniklagen. Att riva och avveckla kärnkraftsreaktorer innefattas i begreppet ”drift av kärnkraftsreaktorer”. För drift av kärnkraftsreaktorer krävs det, förutom tillstånd enligt kärntekniklagen, även tillstånd enligt miljöbalken.¹ Miljöbalken kräver även ett särskilt tillstånd för att få påbörja avveckling och rivning av reaktorn (se nedan).

Det finns fyra bolag som har tillstånd enligt kärntekniklagen och miljöbalken att driva kärnkraftsreaktorer i Sverige. De fyra tillståndshavarna är följande:

- Forsmark Kraftgrupp AB, som driver 3 stycken kärnkraftsreaktorer i Östhammars kommun,
- OKG AB, som driver 3 stycken kärnkraftsreaktorer i Oskarshamns kommun,
- Ringhals AB, som driver 4 stycken kärnkraftsreaktorer i Varbergs kommun och
- Barsebäck Kraft AB, som driver 2 stycken kärnkraftsreaktorer i Kävlinge kommun.

De två reaktorerna i Barsebäck är permanent avställda och är föremål för så kallad servicedrift och partiell demontering. Reaktorerna kommer att rivas när ett slutförvar för långlivade radioaktiva reaktordelar är uppfört. Barsebäck Kraft AB har följaktligen även ett tillstånd enligt miljöbalken för avveckling och rivning av sina båda reaktorer.

Ett tillstånd ger en rätt att inneha och driva kärnkraftsreaktorerna. Tillståndet enligt kärntekniklagen gäller enbart tillståndshavaren och ingen annan. Det är alltså inte möjligt att överlåta ett tillstånd enligt kärntekniklagen till någon annan aktör utan att regeringen först prövar tillståndsfrågan enligt kärntekniklagen. Det förhåller sig något annorlunda när det gäller tillstånd enligt miljöbalken. Enligt miljöbalken gäller tillståndet verksamheten i sig och

¹ För nya kärnkraftsreaktorer gäller att regeringen, enligt 17 kap. 1 § miljöbalken, ska pröva tillåtligheten av dessa innan tillståndsansökan prövas.

knyter inte an till en bestämd tillståndsinnehavare på samma sätt som det gör enligt kärntekniklagen.

Det finns också andra viktiga aktörer än tillståndshavarna i sammanhanget nämligen de som i ekonomiska termer äger kärnkraftsreaktorerna. Det är moderbolagen i de koncerner, som tillståndshavarna tillhör. Deras betydelse i sammanhanget redovisas längre fram i kapitlet.

3.2 Begreppet ”permanent avstängd kärnkraftsreaktor”

Att en kärnkraftsreaktor permanent stängs av för att rivas innebär inte att tillståndet enligt kärntekniklagen för drift av reaktorn upphör att gälla. Tillståndet med åtföljande skyldigheter gäller tills dess alla skyldigheter fullgjorts. En permanent avställd kärnkraftsreaktor, som ska rivas, är alltså en kärnkraftsreaktor, som dessutom kräver ett särskilt tillstånd enligt miljöbalken för att kunna avvecklas och rivas – se nedan.

I kärntekniklagen finns en definition av begreppet ”permanent avstängd kärnkraftsreaktor”. Enligt definitionen är det en kärnkraftsreaktor där verksamheten med elproduktion har upphört och inte kommer att återupptas eller en reaktor som inte har levererat el till elnätet de senaste fem åren (jfr 2 § punkten 4 kärntekniklagen). Det kan alltså vara fråga om två händelser nämligen:

1. att tillståndshavaren har fattat ett aktivt beslut om att reaktorn ska stängas permanent eller
2. att reaktorn av olika skäl inte har levererat el till elnätet under fem år utan att tillståndshavaren fattat något beslut om att stänga reaktorn.

Någon möjlighet att göra undantag från femårsregeln finns inte (Prop. 2009/10:172, s. 38).

Begreppet har en särskild betydelse när det gäller tillstånd att ersätta en äldre kärnkraftsreaktor med en ny. Regeringen får nämligen – som ett av flera krav – tillåta att en ny kärnkraftsreaktor uppförs endast om den nya reaktorn är avsedd att ersätta en

kärnkraftsreaktor som kommer att vara permanent avstängd när den nya reaktorn tas i kommersiell drift.

Det är enligt kärntekniklagen förbjudet att åter ta en permanent avstängd reaktor i kommersiell drift (jfr 15 § kärntekniklagen).

3.3 Skyldigheten enligt kärntekniklagen att vidta avvecklingsåtgärder

Med tillståndet enligt kärntekniklagen för drift av en kärnkraftsreaktor följer ett antal skyldigheter. I skyldigheterna ingår inte enbart att upprätthålla säkerheten vid driften av reaktorn utan även att se till att kärnavfall och använt kärnbränsle (kärnämne som inte används på nytt) ska kunna hanteras och slutförvaras på ett säkert sätt.

I skyldigheterna ingår också att kärnkraftsreaktorn avvecklas² och rivs på ett säkert sätt när den är permanent avstängd – se detta begrepp nedan. Det är fråga om en fullständig demontering och bortforsling av reaktorn och övriga anordningar som ingår i reaktor-anläggningen och som är radioaktivt kontaminerade (jfr 10 § första stycket kärntekniklagen).

Skyldigheten att avveckla och riva reaktorn kvarstår tills dess att: ”all verksamhet vid anläggningarna har upphört och allt kärnämne och kärnavfall placerats i ett slutförvar som slutligt förslutits” (jfr 10 § första stycket 3 kärntekniklagen). Lagen använder begreppet ”slutligt förslutits” som en borte gräns för när tillståndshavarnas ansvar upphört. Slutförvarsfrågorna har således en direkt anknytning till bestämmelsen i kärntekniklagen om tillståndshavarens långsiktiga skyldigheter.

Ett tillstånd att driva en kärnkraftsreaktor är som framgår av kärntekniklagen ett mycket långsiktigt åtagande såväl tekniskt som ekonomiskt. Kärntekniklagen förstärker detta genom att föreskriva att de skyldigheter som åligger en innehavare av tillstånd kvarstår även om tillståndet återkallas, giltighetstiden för ett tillstånd går ut eller en kärnkraftsreaktor är permanent avstängd ända till dess

² Begreppet ”avveckling” kan delas in i följande faser: avställningsdrift, servicedrift och rivning. Med avställningsdrift avses den del av avvecklingsperioden då kärnbränsle finns kvar i kärnkraftverket eller i reaktorn och med servicedrift den period då allt kärnbränslet avlägsnats från platsen där reaktorn är belägen.

tillståndshavaren har fullgjort sina åligganden (jfr 14 § första stycket kärntekniklagen).

Lagstiftaren har dock, genom bestämmelsen i 14 § andra stycket, ansett det rimligt att tillståndshavaren i vissa fall kan medges befrielse från sina förpliktelser. I samband med en sådan befrielse prövas om:

de åligganden som tillståndsinnehavaren har kan fullgöras av annan. I en sådan situation bör också prövas om kraven på säkerhet och en säker avfallshantering och avveckling av en aktuell anläggning kan anses tillgodosedda och att medel finns härför (Prop. 1983/84:60, s. 94).

Ett medgivande till befrielse ges i detta fall av regeringen. (Jfr 17 § förordningen (1984:14) om kärnteknisk verksamhet).

3.4 Skyldigheten att ansöka om tillstånd enligt miljöbalken för att få påbörja avveckling och rivning

Att avveckla och riva en reaktor antas, enligt miljöbalken, alltid medföra en betydande miljöpåverkan. Miljöbalken ställer krav på ett särskilt tillstånd för att avveckla en kärnkraftsreaktor eller annan kärnreaktor. Kravet på tillstånd motiveras av att avveckling av en reaktor är en lång och komplicerad process som måste stå under myndigheternas kontroll. Det är mark- och miljödomstolen som beslutar om tillstånd. Tillståndsprövningen görs enligt bestämmelserna i miljöbalken.

Tillståndet enligt miljöbalken gäller för verksamhet:

varigenom en kärnkraftsreaktor eller annan kärnreaktor monteras ned eller avvecklas, från det att reaktorn stängs av till dess att reaktorn efter avställningsdrift, servicedrift och rivning har upphört genom att allt kärnbränsle och annat radioaktivt kontaminerat material varaktigt har avlägsnats från anläggningsplatsen (22 kap. 1 § Miljöprövningsförordningen (2013:251)).

Enligt ordalydelsen i författningen har reaktorn alltså upphört att existera i och med att anläggningsplatsen är fri från alla radioaktivt kontaminerade restprodukter från verksamheten.

Domstolen kan också i samband med beslutet ställa villkor enligt miljöbalken för tillståndet. Ändringen av verksamheten, dvs.

avvecklingsarbetet, ska också anmälas till Strålsäkerhetsmyndigheten enligt myndighetens föreskrifter om säkerhet i kärntekniska anläggningar (SSMFS 2008:1). Det innebär att närmare bestämmelser för avvecklingsarbetet kan ställas enligt såväl miljöbalken som kärntekniklagen. Eftersom Strålsäkerhetsmyndigheten har tillsyn över verksamheten enligt både miljöbalken och kärntekniklagen så torde detta inte innebära några samordningsproblem. En reaktor som ska rivs utgör en kärnteknisk anläggning. Myndigheten kan därför även fortsättningsvis ställa villkor och besluta om förelägganden i fråga om säkerhet och strålskydd för avvecklings- och rivningsarbetet.

En miljökonsekvensbeskrivning ska bifogas ansökan till mark- och miljödomstolen. Miljökonsekvensbeskrivningen ska identifiera och beskriva de direkta och indirekta effekter som avvecklings- och rivningsarbetet kan medföra dels på människor, djur, växter, mark, vatten, luft, klimat, landskap och kulturmiljö, dels på hushållningen med mark, vatten och den fysiska miljön i övrigt, dels på annan hushållning med material, råvaror och energi. Dessutom är syftet med miljökonsekvensbeskrivningen att möjliggöra en samlad bedömning av dessa effekter på människors hälsa och miljön samt att identifiera och bedöma faktorer i omgivningen som kan påverka säkerheten.

I samband med att miljökonsekvensbeskrivningen upprättas ska sökanden samråda med länsstyrelsen, statliga myndigheter, liksom med kommuner, allmänhet och organisationer som antas bli berörda. Dokumentationen kring samrådet ska ställas ut så att allmänheten får komma med synpunkter och dessa ska i sin tur ligga till grund för de ställningstaganden som mark- och miljödomstolen gör.

Mot bakgrund av att det är straffsanktionerat (jfr 29 kap. 4 § miljöbalken) att påbörja avvecklings- och rivningsarbetet utan tillstånd av mark- och miljödomstolen, är det angeläget att en tillståndshavare påbörjar arbetet med att upprätta en miljökonsekvensbeskrivning i god tid innan en ansökan ska lämnas in till domstolen.

Barsebäcks kärnkraftverk, ett exempel på avveckling

Kärnkraftsreaktorerna vid Barsebäcks kärnkraftverk i Kävlinge kommun strax söder om Landskrona togs ur drift 1999 och 2005 efter beslut av regeringen³ med stöd av den då gällande lagen (1997:1320) om kärnkraftens avveckling. Lagen upphörde att gälla den 30 juni 2010. Tillstånd för avveckling och rivning enligt miljöbalken krävdes.

Efter att ansökan lämnats av Barsebäck Kraft AB gav Mark- och miljödomstolen i Växjö den 4 december 2012 tillstånd till bolaget att bedriva fortsatt servicedrift och partiell nedmontering inkluderande segmentering och lagring av interndelar samt uppförande av lagerbyggnad för lagring av interndelarna samt fortsatt tillstånd för hamnverksamheten vid kärnkraftverket (Mål nr M 2842-11).

Domstolen bedömde, med beaktande av att servicedriften och lagringen av interndelar skulle fortgå under en begränsad tid, att miljökonsekvensbeskrivningen uppfyllde kraven på en sådan beskrivning enligt bestämmelserna i 6 kap miljöbalken och godkände därför miljökonsekvensbeskrivningen.

Vidare bedömde mark- och miljödomstolen att hinder mot tillstånd inte förelåg med hänsyn till de allmänna hänsynsreglerna i 2 kap. miljöbalken eller balkens bestämmelser i övrigt.

Flera remissinstanser, däribland Strålsäkerhetsmyndigheten, hade yrkat på att tillståndet skulle tidsbegränsas. Mark- och miljödomstolen bedömde emellertid att det inte fanns tillräckliga skäl att tidsbegränsa tillståndet då verksamheten med servicedrift med nödvändighet måste fortsätta tills dess att slutförvar byggs klart.

3.5 Skyldigheten att ha ekonomiska resurser och en organisation som kan fullgöra avvecklingsåtgärderna

Målsättningen i lagstiftningen för kärnteknisk verksamhet är att, så långt det över huvud taget är möjligt, undanröja riskerna för en radiologisk olycka och därmed ytterst för förluster av liv eller egendom. Kraven på säkerhet och strålskydd är långtgående. Kärn-

³ Regerings beslut beträffande Barsebäck 1 fattades den 30 november 1999 och beträffande Barsebäck 2 den 16 december 2004.

tekniklagen kan sägas ha utformats så att tillståndshavaren har givits ett ansvar för driften av en kärnteknisk anläggning som närmar sig det strikta⁴ och som inte kan överlåtas på någon annan. Stor vikt läggs därför vid tillståndshavarens förutsättningar för att på ett betryggande sätt kunna svara för de åtaganden som följer av kärnteknisk verksamhet (se Prop. 2009/10:172, s. 57).

Kärntekniklagen tydliggör tillståndshavarens skyldigheter genom att ställa krav på att ha en organisation utformad och bemannad på ett sådant sätt att den tillförsäkrar en säker och tillförlitlig drift av verksamheten (jfr 13 § första stycket 2). Med drift avses även all verksamhet som rör avveckling och rivning av en kärnkraftsreaktor. Kravet på en fullgod organisation gäller även i förekommande fall för de uppdragstagare tillståndshavaren anlitar.

Tillståndshavaren är även skyldig att ha ekonomiska resurser som är tillräckliga för att kunna fullgöra de åtgärder som kärntekniklagen kräver eller åtgärder som följer av villkor eller föreskrifter som har meddelats med stöd av lagen samt skyddsåtgärder i händelse av driftstörningar eller haverier i anläggningen (jfr 13 § första stycket 1). På ett trovärdigt sätt måste tillståndshavaren kunna visa att den antingen direkt, t.ex. genom ett tillräckligt aktiekapital eller genom åtaganden av högsta moderbolaget i den koncern tillståndshavaren kan tillhöra, har den finansiella kapacitet som krävs för att på ett uthålligt sätt uppfylla de krav som ställs. I det sammanhanget bör de skyldigheter som tillståndshavaren har enligt bl.a. atomansvarighetslagen ha en stor betydelse (se Prop. 2009/10:172, s. 57).

3.6 Om finansieringen av avveckling och rivning

För att i viss mån garantera att resurser finns tillgängliga för slutförvaring av använt kärnbränsle och avveckling och rivning av kärnkraftsreaktorerna finns bestämmelser i lagen (2006:647) om finansiella åtgärder för hanteringen av restprodukter från kärnteknisk verksamhet (finansieringslagen). Finansieringslagen syftar till att säkra finansieringen av tillståndshavarnas kostnader för hantering och slutförvaring av verksamhetens restprodukter och

⁴ Det är alltså inte fråga om strikt ansvar på objektiv grund.

avveckling och rivning av de kärntekniska anläggningarna samt den forskning och utveckling som krävs för att uppnå detta.

För detta ändamål är den som har tillstånd att inneha eller driva en kärnkraftsreaktor skyldig att betala en särskild avgift – kärnavfallsavgift. Kärnavfallsavgiften är baserad på den totala kostnaden för omhändertagandet av det avfall, inklusive avveckling och rivning, som reaktorn genererar ända till dess avfallet är placerat i slutligt förvar (*grundkostnaden*).

Avgiften ska även täcka statens kostnader för förvaltning och tillsyn m.m. av avfallshanteringen (*merkostnader*). Avgiften betalas av innehavaren av en kärnkraftsreaktor i förhållande till antalet levererade kilowattimmar el vid anläggningen och ska täcka en så stor andel av kostnaderna att den motsvarar tillståndshavarens andel av samtliga avgiftsskyldigas restprodukter (jfr 7 § finansieringslagen).

Skyldigheten att betala kärnavfallsavgift upphör inte förrän allt kärnavfall från en verksamhet som omfattas av lagen finns i förslutna slutförvar. Detta får till följd att också tillståndshavare som upphört med sin verksamhet kan bli avgiftsskyldiga för de åtgärder som återstår att vidta enligt kärntekniklagen såsom t.ex. omhändertagande av kärnavfall och nedmontering av anläggningar. Lagen innehåller ingen möjlighet till dispens, utan befrielse från avgiftsskyldighet följer indirekt av att befrielse från skyldigheterna enligt kärntekniklagen medges i enlighet med dess 14 § (jfr 13 och 14 §§ finansieringslagen).

Närmare bestämmelser om kärnavfallsavgiften återfinns i förordningen (2008:715) om finansiella åtgärder för hanteringen av restprodukter från kärnteknisk verksamhet (finansieringsförordningen). Av förordningen framgår att en reaktorinnehavare, i samråd med övriga reaktorinnehavare, vart tredje år ska upprätta en kostnadsberäkning som ligger till grund för beräkning av kärnavfallsavgiften (3 § finansieringsförordningen). En förutsättning, vid kostnadsberäkningen är att varje reaktor som inte permanent tagits ur drift har en total driftstid om 40 år. Den återstående driftstiden ska dock alltid antas vara minst 6 år (4 § finansieringsförordningen).

Strålsäkerhetsmyndigheten ska för var och en av reaktorinnehavarna och med utgångspunkt i den inlämnade kostnadsberäkningen upprätta ett förslag till den kärnavfallsavgift som reaktorinnehavaren ska betala de närmast kommande tre kalenderåren.

Den föreslagna avgiften ska anges i kronor per levererad kilowattimme elström (6 § finansieringsförordningen)

SSM:s förslag ska lämnas till regeringen som därefter fastställer avgifter och beloppen för säkerheterna för de kommande tre kalenderåren. Dessa återkommande beslut om avgifter och säkerheter vart tredje år (rullning) är centralt för att kunna beakta nya kostnadsberäkningar, prognoser om kärnkraftsproduktion, osäkerhetsbedömningar etc. och låta dessa nya bedömningar få genomslag i nya avgifter och säkerhetsbelopp.

Avgiftsmedlen betalas in till en statlig myndighet, Kärnavfallsfonden, som också fonderar medlen.

Den som är skyldig att betala kärnavfallsavgift ska också ställa säkerhet för de kostnader som kärnavfallsavgiften ska täcka men som inte täcks av de avgifter som har betalats samt för en osäkerhetsmarginal avseende kostnader till följd av oplanerade händelser.

Säkerheterna ska täcka två olika slag av belopp nämligen följande:

1. finansieringsbelopp: ett belopp som motsvarar skillnaden mellan de återstående grundkostnaderna och merkostnaderna för de restprodukter som har uppkommit då beräkningen görs och de medel som har fonderats för dessa kostnader,
2. kompletteringsbelopp: ett belopp som motsvarar en skälig uppskattning av kostnader som avses i 4 § 1–3 finansieringslagen och som kan uppkomma till följd av oplanerade händelser.

Säkerheterna ställs i form av proprieborgen som utfärdas av respektive moderbolag.⁵

3.7 Osäkerheter i finansieringssystemet

Som framgått ovan baseras avgifterna för att finansiera kostnaden för omhändertagandet av det avfall, inklusive avveckling och rivning, som kärnkraftsreaktorerna genererar på det antal kilowattimmar el som kärnkraftsanläggningarna totalt levererar. Varje tillståndshavare ska täcka en så stor andel av kostnaderna att den

⁵ Vid en proprieborgen går borgensmannen i borgen såsom för egen skuld.

motsvarar tillståndshavarens andel av samtliga tillståndshavares restprodukter.

E.ON AB har, enligt uppgift från SSM:s skrivelse *Angående OKG AB:s och Ringhals AB:s beslut om förtida avställning av vissa kärnkraftsreaktorer* (SSM, 2015) beslutat att stänga kärnkraftsreaktorerna Oskarshamn 1 och 2 tidigare än planerat. Vattenfall AB har beslutat att stänga reaktorerna Ringhals 1 och Ringhals 2 tidigare än planerat.

Vid en extra bolagsstämma vid Vattenfall AB beslutades det att reaktor Ringhals 2 ska tas ur drift den 13 juli 2019 och reaktor Ringhals 1 den 14 juni 2020. Tidigare planering för driftstopp av de båda reaktorerna var den 30 april 2025 respektive 31 december 2025, alltså en minskad drifttid på 5,8 respektive 5,5 år. Det innebär med utgångspunkt i den planerade produktionen en total minskning av planerad el-produktion från de båda reaktorerna på 72 TWh.

På motsvarande sätt beslutade en extra bolagsstämma i OKG AB att reaktor Oskarshamn 1 (O1) ska ställas av för övergång till servicedrift någon gång under 2017–2019 i stället för tidigare planerat 5 februari 2022. Beslutet för reaktor Oskarshamn 2 (O2), som haft ett produktionsstopp sedan juni 2013, innebär att reaktorn inte kommer att återstartas utan övergå till att vara en permanent avstängd reaktor. För O1 innebär det en minskad drifttid på 2,1 år medan det för O2 innebär en minskad drifttid på 21,5 år. Den totala minskningen av planerad produktion blir 145,1 TWh.

SSM har analyserat hur OKG:s och Ringhals AB:s (RAB) beslut att stänga reaktorerna Oskarshamn 1 och 2 samt Ringhals 1 och 2 tidigare än planerat påverkar finansieringen av den framtida kärnkraftsavvecklingen. De förändringar i drifttid som tillståndshavarna har beslutat utgör väsentliga förändringar i de förutsättningar som låg till grund för regeringens beslut om avgifter för perioden 2015–2017. För att upprätthålla balans i finansieringssystemet bedömer myndigheten att avgiften för OKG behöver höjas från nuvarande 4,1 till 6,7 öre per producerad kilowattimme (kWh) kärnkraftsel och för RAB från 4,2 till 5,5 öre per kWh.

3.8 Slutsatser

Moderbolagen äger kärnkraftsreaktorerna men det ekonomiska ansvaret vilar på de enskilda tillståndshavarna

Det ekonomiska ansvaret vilar på de enskilda tillståndshavarna Forsmark Kraftgrupp AB, OKG AB, Ringhals AB och Barsebäck Kraft AB. Det är på dessa enskilda bolag som ansvaret ligger för en säker hantering av kärnavfallet liksom för finansiering av kostnaderna som hanteringen ger upphov till. Dessa företag är ägda eller delägda av andra företag i olika led. I denna struktur av ägande är i allt väsentligt Vattenfall AB, E.ON AG och Fortum Oy de högsta koncernmoderbolagen.

Moderbolagen i de koncerner som reaktorinnehavarna ingår i innehar inte något tillstånd att inneha och driva kärnkraftsreaktorerna. Dessa moderbolag har alltså, formellt sett enligt kärntekniklagen, inga rättigheter när det gäller drift av kärnkraftsreaktorerna. Framför allt har de heller inte några skyldigheter när det gäller avveckling och rivning av dessa.

De fyra reaktorinnehavarna är renodlade reaktorföretag. Tillgångarna i företagen är i allt väsentligt kärnkraftsreaktorerna eller, annorlunda uttryckt, de framtida intäkterna från försäljning av kärnkraftsel. Det ackumuleras inte några vinstmedel av särskild omfattning i dessa reaktorföretag. Det handlar om företag med avskild tillgångsmassa i en koncern.

Det finns inga krav på långsiktig finansiell styrka kopplat till tillståndet att inneha eller driva en kärnkraftsreaktor. Mot denna bakgrund är det ett rimligt antagande att tillgångarna i respektive reaktorföretag i det närmaste kommer att vara obefintliga när elproduktionen upphör. Med andra ord har reaktorföretaget i sig inte någon långsiktig förmåga att uppfylla kärntekniklagens skyldigheter att på ett säkert sätt avveckla och riva anläggningar och hantera och slutförvara använt kärnbränsle och kärnavfall. De reaktorbolag (tillståndshavare) som enligt nuvarande lagregler är ansvariga för att det använda kärnbränslet ska slutligt tas om hand och kärnkraftsreaktorerna avvecklas och rivas på ett säkert sätt, kan således komma att upphöra att existera innan slutförvaret slutligt förslutits.

Mot bakgrund av reaktorbolagens sannolikt svaga finansiella ställning efter det att elproduktionen upphört föreligger alltså en

osäkerhet kring tillståndshavarnas långsiktiga förmåga att fullgöra sina skyldigheter. Det gäller både för ännu inte betalda kärnavfallsavgifter avseende redan uppkommet avfall och kostnader som kan uppstå till följd av oplanerade händelser.

Kärntekniklagens bestämmelser innebär att tillståndet att inneha och driva en kärnkraftsreaktor kan komma att kvarstå under många decennier efter det att verksamheten faktiskt upphört. Mot denna bakgrund är det möjligt att reaktorinnehavarna som genererat kärnavfallet kan komma att upphöra att existera innan arbetet med att ta om hand det använda kärnbränslet och kärnavfallet slutförts i alla delar. När elproduktionen från reaktorerna upphör, och därmed försäljningen av el, har dessa företag därför i princip inte längre något positivt värde (Finansieringsutredningen, 2004, avsnitt 4; SSM, 2013, avsnitt 4.9.2).

Ett konstaterande kan vara att även om reglerna i lagstiftningen om skyldigheter och ansvar för rivning och avveckling av kärnkraftsreaktorer är tydliga, kan det om flera reaktorer stängs tidigare än planerat, komma att saknas pengar i Kärnavfallsfonden för rivning och avveckling. Och vad händer om ett aktiebolag som innehar tillståndet för kärnkraftsreaktorer går i konkurs? Vem betalar då för rivning och avveckling? Moderbolagen i de koncerner, som reaktorinnehavarna ingår i har inget formellt ansvar enligt kärntekniklagen respektive miljöbalken.

Utgångspunkten för finansieringen av de kostnader som driften av kärnkraftsreaktorerna ger upphov till är att tillståndshavarna ska stå för kostnaderna enligt principen ”förorenarna ska betala”. Osäkerheterna i finansieringssystemet innebär för närvarande att denna princip inskränker sig till en förhoppning om att de säkerheter motsvarande finansieringsbeloppet och kompletteringsbeloppet (se ovan), som moderbolagen hjälpt sina dotterbolag, tillståndshavarna, att ställa, ska täcka de resterande kostnaderna i en sådan situation.

Staten har genom att ratificera den s.k. avfallskonventionen (SÖ 1999:60) åtagit sig att vidta lämpliga åtgärder för att se till att varje sådan tillståndshavare axlar sitt ansvar. Om det i framtiden inte skulle finnas någon tillståndshavare eller någon annan ansvarig part som har förmåga att axla ansvaret, vilar ansvaret på staten vilket skulle strida mot den ovan nämnda principen att den som förorenar också ska stå för sina kostnader.

Referenser

- Finansieringsutredningen. 2004. SOU 2004:125. *Betalningsansvaret för kärnavfallet*. Stockholm: Fritzes.
- Kärnavfallsrådet. 2007. *Rivning av nedlagda kärntekniska anläggningar i Sverige*. Rapport 2007:7. Stockholm: Fritzes.
- Rådets direktiv 97/11/EG av den 3 mars 1997 om ändring av direktiv 85/337/EEG om bedömning av inverkan på miljön av vissa offentliga och privata projekt (MKB-direktivet).
- SSM. 2015 *Angående OKG AB:s och Ringbals AB:s beslut om förtida avställning av vissa kärnkraftsreaktorer*. SSM:s skrivelse till regeringen den 1 december 2015. (SSM 2015-1198). Strålsäkerhetsmyndigheten.
- SSM. 2013. *Förändringar i lagen (2006:647) om finansiella åtgärder för hanteringen av restprodukter från kärnteknisk verksamhet och förordningen (2008:715) om finansiella åtgärder för hanteringen av restprodukter från kärnteknisk verksamhet*. (SSM2011-4690). Strålsäkerhetsmyndigheten.
- SSMFS 2008:1 *Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i kärntekniska anläggningar*. (SSMFS 2008:1). Strålsäkerhetsmyndigheten.

Mål

- Mark- och miljödomstolen vid Växjö tingsrätt. 2012. Kungörelse 2012-04-20. Aktbilaga 2195704. Mål nr M 2842-11.

Sveriges internationella överenskommelser (SÖ)

- SÖ 1999:60 Konvention om säkerheten vid hantering av använt kärnbränsle och om säkerheten vid hantering av radioaktivt avfall. Utrikesdepartementet.

Propositioner

Regeringens proposition 2009/10:172. Kärnkraften – förutsättningar för generationsskifte.

Regeringens proposition 1983/84:60 med förslag till ny lagstiftning på kärnenergiområdet.

Lagar Svensk författningssamling

Lagen (2006:647) om finansiella åtgärder för hanteringen av restprodukter från kärnteknisk verksamhet. Miljödepartementet.

Lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet. Miljödepartementet.

Lagen (1997:1320) om kärnkraftens avveckling. Näringsdepartementet.

Miljöbalken (1998:808). Miljödepartementet.

Förordningar

Förordning (2008:715) om finansiella åtgärder för hanteringen av restprodukter från kärnteknisk verksamhet. Miljödepartementet.

Förordningen (1984:14) om kärnteknisk verksamhet B-direktivet.

Miljöprövningsförordningen (2013:251) 22 kap. Avveckling av kärnreaktorer.

4 Etiska perspektiv på avtalet om stöd till kommunerna

4.1 Inledning

I många olika länder diskuteras frågan om särskilt stöd till de lokalsamhällen som tagit på sig uppgiften att förvara använt kärnbränsle inom sina geografiska gränser. Olika länder har valt olika former av program. Bidrag till vägar, infrastruktur och arbetsmarknad är några exempel.

Dessa program har rubricerats som mervärdesinsatser, kompensationsprogram eller på annat sätt och kan studeras från många olika utgångspunkter. Man kan fokusera på den internationella utvecklingen och jämföra hur olika länder utformat sina platsvalsprocesser och sitt stöd till lokalsamhällen som övervägt eller tillåtit anläggningen av ett slutförvar för använt kärnbränsle. I detta sammanhang kommer vi att särskilt rikta intresset på det mervärdesavtal som 2009 träffades mellan Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), SKB:s ägare och Oskarshamns och Östhammars kommuner.

Det finns flera anledningar att i denna kunskapslägesrapport uppmärksamma motiven bakom denna typ av stödprogram och särskilt det svenska mervärdesavtalet. Samhällsforskare har under senare år visat ett växande intresse för frågan och den har också blivit uppmärksammas i internationella projekt och organisationer. I anslutning till dessa analyser har också etiska frågor berörts. En polisanmälan mot Östhammars kommun för mottagande av mutor från SKB ledde inte till några rättsliga åtgärder, men frågan uppmärksammades i medierna. Mot denna bakgrund har rådet ansett det viktigt att göra en fördjupad etisk analys.

Kapitlet innehåller en kort översikt av hur samhällsforskare har beskrivit och förklarat framväxten av olika stödprogram i allmänhet

och en mer utförlig analys av de etiska frågor som sådana program väcker i synnerhet. Kan man formulera några etiska principer för att göra en bedömning av dessa program? Vilka etiska principer är tillämpliga? Hur ska man mot denna bakgrund bedöma det svenska mervärdesprogrammet?

Dessa frågor är beroende av hur vi beskriver fenomen som kompensation, mervärde eller stödinsatser. Men etiska frågor blir ofrånkomligen en fråga om bedömningar och avvägningar. Därför är tonläget i detta kapitel resonerande och prövande.

Kapitlet är indelat i sex olika avsnitt. Först ges en allmän beskrivning av den teoretiska bakgrunden till olika kompensations- och mervärdesprogram. Därefter presenteras SKB:s mervärdesprogram och en kortfattad internationell jämförelse. En allmän bakgrund ges till den etiska bedömningen av SKB:s mervärdesprogram, som sedan i avsnitt 4.6 diskuteras mer i detalj i relation till fem olika etikregler, som under senare år framförts i den etiska diskussionen. Kapitlet avslutas med en sammanfattning.

4.2 Bakgrundsteorier om kompensation och mervärde

Överenskommelser mellan slutförvarsansvariga och lokalsamhällen har ofta formulerats i termer av kompensation. Det gäller olika typer av avfall och olika typer av anläggningar t.ex. mellanlagring eller slutförvaring av använt kärnbränsle.

Kompensationsprogram har ofta funnits med som en del av platsvalsprocessen, men man kan lägga märke till att det svenska samarbetsavtalet undertecknades så sent som två månader innan SKB kungjorde sitt beslut att välja Östhammar som platsen för slutförvaring av använt kärnbränsle. I mars 2011 lämnade SKB in sin tillståndsansökan och regeringen förutses efter Strålsäkerhetsmyndighetens och Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätts prövning att ta ställning tidigast 2017. Men SKB behöver också kommunernas godkännande och ett motiv för samarbetsavtalet har varit att underlätta ett sådant godkännande. Det framgår också av inledningen till samarbetsavtalet, där det bl.a. står:

Kommunernas aktiva medverkan är en förutsättning också för det fortsatta arbetet och utgör en grundförutsättning för detta Samarbetsavtal och för alla mervärdesinsatser (Samarbetsavtal, 2009, avsnitt 1.4).

Enligt klassisk teori om kompensationsprogram finns det i utgångsläget en obalans mellan fördelar och risker med uppgiften att vara värdkommun för t.ex. en anläggning för slutförvaring av använt kärnbränsle. Kojo och Richardson (2012) beskriver det hela på följande sätt:

Motstånd från närboende till en anläggning antas vara baserad på tanken att det finns en obalans mellan de personliga nackdelar, som uppstår i förhållande till de fördelar som tillfaller en större befolkning. Dessa individer skulle således anse att de personliga nackdelarna väger tyngre än fördelarna. Nackdelarna består av olika typer av upplevda risker och oönskade effekter. I kompensationsteorin antas att varje förhandlad fördel förväntas bidra till att återställa balansen.¹

Mot denna bakgrund antas erbjudanden om kompensation öka villigheten att tillåta projekt som annars skulle vara oönskade:

För att få stöd av en eventuellt blivande värdkommun måste ersättningen vara tillräckligt stor för att kompensera de risker som projektet medför. - - - Den förväntade tillämpningen av teorin är att obalansen åtgärdas och allmänhetens motstånd då skulle avta.²

Nu finns det många tecken på att det är något som inte stämmer med denna teori. Kojo och Richardson nämner att kompensationsprogram tvärtemot teorin inte alls uppfattas som en rättmätig lön för mödan, utan tvärtom som en muta, något som tränger ut ett mer moraliskt grundat samhällsansvar och/eller låter ett krasst marknadstänkande ta över.

Man kan också fråga sig i vilken mån ett samarbetsavtal av den typ som slutits mellan SKB, SKB:s ägare och Oskarshamns och

¹ "Opposition by nearby residents to the facility is assumed to be based on the idea that there is an imbalance between the high personal costs they are asked to bear relative to the benefits that accrue to a larger outside population. Thus these individuals would regard their losses to be outweighed by the benefits. The costs consist of different kinds of perceived risks and unwanted impacts. In compensation theory it is assumed that any negotiated benefit should be expected to redress the imbalance." (Kojo och Richardson, 2012, s. 8). Kojo and Richardson hänvisar till två andra artiklar av K. E. Portney and M. O'Hare.

² "To win the support of a prospective host community, the compensation has to be large enough to offset the net disutility imposed by the project. - - - The expected outcome of the theory is that any imbalance would be redressed and public opposition would abate." (Kojo och Richardson, 2012, s. 8f).

Östhammars kommuner kan förstås mot bakgrund av denna kompensations teori. Om man läser inledningen till samarbetsavtalet, anges andra överväganden än att kompensera kommuninnevävarna för den risk som en slutförvarsanläggning skulle medföra. I avtalet står t.ex. följande:

Det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle och inkapslingsanläggningen kommer att drivas under mycket lång tidsrymd vilket gör att det är av stor vikt för SKB att dessa anläggningar finns i ett väl fungerande lokalsamhälle. Dagens befintliga kärntekniska verksamhet i Kommunerna ... har också fortsatt behov av bland annat ett väl fungerande näringsliv för att verksamheterna skall kunna bedrivas på bästa möjliga sätt. Kommunernas intresse är att utveckla sådana välfungerande lokalsamhällen (Samarbetsavtal, 2009, 1.5).

Den teori som antyds i detta avsnitt kan beskrivas som *funktionalistisk*. Målet är ett väl fungerande lokalsamhälle. Detta är en förutsättning för ett framgångsrikt genomförande av slutförvarsprojektet. Projektet kan inte isoleras från sociala och ekonomiska sammanhang. Om inte arbetsmarknad, skola, civilsamhälle, infrastruktur etc. är välfungerande delar i en sammanhängande helhet, så undergrävs också förutsättningar för att genomföra det komplicerade och långvariga slutförvarsprojektet. I detta avseende kan man anta att kommunernas och SKB:s intressen sammanfaller. Man kan naturligtvis tänka sig att intressena kan skilja sig åt på så sätt att SKB skulle vilja satsa på aktiviteter, som på ett mer omedelbart och närallgande sätt påverkar slutförvarsprojektets organisation och förutsättningar. Men det hindrar inte att det kan finnas den långtgående intressegemenskap mellan SKB och kommunerna, som samarbetsavtalet framhäver.

Den tidigare nämnda kompensations teorin utgår i motsats till denna funktionalistiska teori från ett *konfliktperspektiv*. Kommunerna och SKB antas i utgångsläget ha motsatta intressen. SKB vill bygga ett slutförvar, som medför risker för kommuninnevävarnas väl och ve. Kommuninnevävarna förutsätts därför eftersträva en rättmätig kompensations. SKB erbjuder denna kompensations i form av ett samarbetsavtal. Risken är att ersättningen uppfattas som en muta. En annan nackdel kan vara att samhällsansvaret förvandlas till en förhandlingsfråga.

Mervärdesavtalet ligger i tydlig linje med ett mer funktionalistiskt betraktelsesätt, medan klassiska kompensationsprogram har en

konfliktteoretisk utgångspunkt. Huruvida det aktuella samarbetsavtalet i praktiken uppfyller och kommer att tillgodose den intressegemenskap som finns mellan SKB och kommunerna är en annan sak. Det kan inte heller uteslutas att den funktionalistiska ansatsen används för att förebygga tänkbar kritik mot ett kompensationsstänkande.

Man skulle därför kunna säga att ett funktionalistiskt betraktelsesätt ger en alltför positiv och okritisk bild av det svenska mervärdesprogrammet. Mot denna bakgrund är det viktigt att göra en öppen etisk prövning av programmets upplägg. Vi ska i detta sammanhang begränsa oss till en etisk bedömning av SKB:s mervärdesprogram och börja med en kortfattad presentation av detta program.

4.3 Samarbetsavtal om mervärdesinsatser i Sverige

2007 skrev kommunledningarna i Oskarshamn och Östhammar ett gemensamt brev till SKB och föreslog ett utökat SKB-stöd till kommunerna som en kompensation för deras villighet att ta ansvar för hanteringen av använt kärnbränsle. 2009 upprättades ett samarbetsavtal mellan å ena sidan Oskarshamns och Östhammars kommuner och SKB och dess ägare å den andra. I avtalet heter det bl.a. att parterna:

ansett det nödvändigt att bredda perspektivet och genom samarbete tillföra vissa mervärden för att bidra till en positiv utveckling i Oskarshamns och Östhammars kommuner, en utveckling som är av stor vikt för såväl SKB, SKB:s ägare som kommunerna (Samarbetsavtal, 2009, 1.6).

Huvudpunkterna av detta avtal har sammanfattats på följande sätt av SKB:s VD Christopher Eckerberg:

Mervärdesavtalet kom till på Oskarshamns och Östhammars kommuners initiativ och innebär att SKB och SKB:s ägare åtar sig att skapa värden för 1,5–2 miljarder kronor i kommunerna. Den kommun som SKB inte valde för slutförvaret – Oskarshamn – får 75 procent av värdena och Östhammar får 25 procent. Avtalet tecknades år 2009, strax innan SKB valde i vilken kommun man vill förlägga slutförvaret.

Där anges också att kommunerna ska ha en ersättning för att kunna ha en organisation som hanterar de här frågorna.³

Ca 20 procent av detta mervärde ska skapas fram tills dess att tillstånd för byggande av slutförvarsanläggning medgivits och resten av mervärdet skapas därefter, huvudsakligen fram till 2025 (Samarbetsavtal, 2009, avsnitt 3). Mervärdesinsatserna beslutas av en styrgrupp bestående av fem medlemmar, nämligen ordförande, viceordförande och VD för SKB samt av kommunstyrelsens ordförande i Oskarshamns respektive Östhammars kommuner. Beslut i enighet ska eftersträvas, men i de fall en sådan inte uppnås ska beslut fattas med kvalificerad majoritet, dvs. med minst två rösters övervikt.

De insatser som omfattas av avtalet är av skiftande karaktär. Följande insatser omnämns i samarbetsavtalet:

- Besöksanläggning
- Infrastruktur
- Näringslivsutveckling
- Spin-off
- Utbildning och kompetensutveckling
- Breddning av arbetsmarknaden
- Vidareutveckling av SKB:s laboratorier i Oskarshamn
- Särskilda satsningar inom energiområdet
- Huvudkontorsfunktioner
- Kapselabrik
- Energiproduktion
- Särskilda satsningar inom energiområdet
- Ersättningar för Kommunerna för medverkan i mervärdesinsatsernas planering och genomförande. (Samarbetsavtal, 2009, bilaga 1.)

³ <http://www.skbmervarden.se/> (hämtad 2015-12-01).

På SKB:s webbplats finns en detaljerad redovisning av de mervärdesinsatser som styrgruppen hittills beslutat om.⁴

4.4 Internationell jämförelse

Samarbetsavtalet har sin motsvarighet i många andra länder. Studier av dessa olika typer av avtal och mer allmänt hållna program har bl.a. gjorts inom ramen för EU-projektet Implementing Public Participation Approaches in Radioactive Waste Disposal (IPPA)⁵.

I en rapport från IPPA-projektet har två forskare – Matti Kojo och Phil Richardson – presenterat en överblick av den internationella forskningen om denna typ av program sedan slutet av 1970-talet och försökt att klargöra de olika begrepp som använts. Mot bakgrund av forskningslitteraturen och olika fallstudier (t.ex. i Polen, Tjeckien och Slovenien) skiljer författarna också mellan olika typer av kompensationsprogram (Kojo och Richardson, 2013, s. 56; Richardson, 2010):

- (1) kontantbidrag (t.ex. i form av en klumpsumma eller årliga utbetalningar),
- (2) sociala bidrag (t.ex. anslag till utbildning eller sociala projekt),
- (3) samhällsstöd (t.ex. bidrag till föreningar, information och mötesverksamhet).

Författarna utgår mer generellt från ”the added value approach” som ett övergripande begrepp för olika former av kompensation, ersättning och incitament i platsvalsprocessen (Kojo och Richardson, 2012, s. 4).

Deras avsikt är att bredda diskussionen och uppmärksamma den ökande betoningen av icke-ekonomiska insatser i form av sociala projekt och olika former av samhällsstöd. Detta är ett starkt argument för en förnyad begreppsbildning, men skymmer olyckligtvis den betydelse som begreppet mervärde har i Sverige. I det svenska samarbetsavtalet handlar mervärde om den ekonomiska avkast-

⁴ <http://www.skbmervarden.se/mervardesprojekt/> (hämtad 2015-12-01).

⁵ IPPA har finansierats av Euratoms sjunde ramprogram från 2011 och fram till början av 2014. Projektet var bl.a. inriktat på kärnavfallsprogrammen i Polen, Tjeckien, Slovakien, Rumänien och Slovenien. Läs mer i (Kärnavfallsrådet, 2014).

ningen av gjorda investeringar, dvs. de intäkter som genereras till kommunerna som en följd av de resurser som tillskjuts av SKB (och eventuell medfinansiering från tredje part).

SKB:s och kommunernas mervärdesprojekt kan egentligen inte direkt inordnas i Kojos och Richardsons schema. För att det ska bli möjligt måste man i stället utgå från de ekonomiska resurser som SKB bidrar med för att initiera olika mervärdesinsatser. Enligt vissa beräkningar är det (från 2009–2015) fråga om sammanlagt ca 125 miljoner kronor.⁶

Man kan sedan dela in dessa i kontantbidrag (i första hand till näringslivssatsningar), sociala bidrag eller samhällsstöd.

Moral och Etik

Moral är våra uppfattningar om vad som är rätt och orätt, om vad som kännetecknar en god människa, ett gott samhälle och en god relation till naturen.

Etik kan beskrivas som vår reflektion över moralen, dvs. över de värderingarna vi har och de handlingar som vi utför. Varför gör jag som jag gör? Borde jag handla på något annat sätt? Varför omfattar jag just dessa värderingar om rätt och orätt? Vad är ett gott samhälle? Vad är en god relation till naturen? Borde jag ändra på mina värderingar? Etik är således vår reflektion över innehållet i vår egen och andra människors moral.

Alla människor har en moral, dvs. uppfattningar om vad som är rätt eller orätt – vare sig vi är medvetna om dessa uppfattningar eller inte. Men alla har inte en etik. Etik är att ta ett steg tillbaka och reflektera kring moraliska värderingar (Kärnavfallsrådet, 2004).

4.5 Mervärde och etik

Den 4 juni 2015 inlämnades en polisanmälan mot Östhammars kommun för mottagande av mutor från SKB. Anmälaren var en företrädare för Folkkampanjen mot Kärnkraft-Kärnvapen. Enligt anmälan är samarbetsavtalet att betrakta som en muta för att kommunen ska bli vänligt inställd till kärnavfalllets slutförvaring.

⁶ <http://www.skbn.se/investeringar-och-resultat/> (hämtad 2015-12-01).

Polisanmälan överlämnades till riksenheten mot korruption, som inte fann anledning att anta att ett mutbrott hade begåtts. Samarbetsavtalet kan liknas vid ett sponsringsavtal. Inget annat brott kunde misstänkas och därför lades förundersökningen ned (Polisen, 2015, Dnr. 5000-K685718–15).

Ur juridisk synpunkt finns alltså inget att invända mot samarbetsavtalet. Men det avgör inte den etiska frågan. Det finns mycket som är juridiskt tillåtet, men inte moraliskt berättigat. Det kan t.ex. finnas etiska invändningar mot ett mervärdesavtal även om det är juridiskt invändningsfritt.

Etiska analyser kan genomföras på olika sätt och det rätta tillvägagångssättet är en omdiskuterad fråga. I Kärnavfallsrådets kunskapslägesrapport 2004 förs en omfattande diskussion om etik och miljöetik i kapitlet ”Kärnavfall, etik och ansvaret för framtida generationer” (Kärnavfallsrådet, 2004). Där konstaterar rådet att etiska analyser ofta utgår från mer generella etiska principer. Men man kan också utgå från mer specifika villkor och pröva om dessa kan vara vägledande för bedömningen av t.ex. frågan om kompensation till kommuner som tagit på sig ansvaret att ta emot t.ex. ett slutförvar för använt kärnbränsle. Det är den väg som vi kommer att välja i detta sammanhang.

4.6 Etisk analys av SKB:s mervärdesavtal utifrån fem villkor

Mike Hannis och Kate Rawles (2013) har gjort en etisk analys, som är en fruktbar utgångspunkt för en etisk bedömning av det svenska mervärdesavtalet mellan SKB, SKB:s ägare, Oskarshamns och Östhammars kommuner. Hannis och Rawles genomför sin analys genom att (1) formulera olika villkor, som bör vara uppfyllda för att ett avtal ska vara etiskt godtagbart och (2) pröva om dessa villkor är användbara och tillämpliga på ett särskilt kompensations- eller mervärdesprogram. Det är viktigt att understryka att dessa villkor endast är en hypotetisk utgångspunkt för diskussionen. I vissa fall kan villkoren behöva justeras i växelspel med särskilda överväganden, som vi kommer att redovisa i den kommande framställningen.

Vi kommer att använda en delvis annan terminologi än Hannis och Rawles och också införa benämningar på dessa olika villkor. De två första villkoren formuleras på följande sätt:

1. **Icke-övertalningsvillkoret.** Erbjudande om förmåner får inte göras med avsikt att övertala kommunen att gå med på att vara värdkommun för en anläggning för slutförvaring av använt kärnbränsle.
2. **Minsta möjliga risk-villkoret.** Förmåner får inte erbjudas som kompensation för handlingar eller beslut som innebär risk för personskador⁷ på ett sådant sätt som är etiskt oförsvarligt eller brottsligt (Hannis och Rawles, 2013, s. 359).⁸

Utöver dessa bägge villkor gör Hannis och Rawles ett antal andra överväganden som kan formuleras i form av tre andra villkor.

3. **Oberoendevillkoret.** Den institution som kommer med erbjudandet om kompensation måste vara, eller vara känd att vara, genuint oberoende av kärnkraftsindustrin (a.a., s. 363 f).
4. **Villkoret om det gemensamma bästa.** Det är inte etiskt önskvärt att förvandla en villighet att bidra till det gemensamma bästa till en finansiell relation (a.a., s. 364 ff).
5. **Villkoret om värdeengagemang.** Mottagandet av en kompensation får inte betyda att man därmed förråder de slags relationer eller värdeförpliktelser som till sin karaktär innebär en vägran att sätta ett pris på sociala gemenskapsrelationer (a.a., s. 366–371).

Vi ska nu i tur och ordning kommentera dessa olika villkor och i den utsträckning det är möjligt undersöka om de är tillämpliga – och i så fall på vilket sätt – på det svenska mervärdesavtalet.

⁷ Villkoret skulle naturligtvis kunna vidgas till att omfatta andra skador på djur och natur. Djur och växter kan drabbas även om människor inte skadas (se kapitel 6, avsnitt 6.4.4).

⁸ Man skulle också kunna vända på detta villkor: det är oetiskt av en kommun att kräva en viss kompensation för att "låta sig övertalas".

4.6.1 Kommentar till icke-övertalningsvillkoret

Detta villkor ligger nära det som anfördes i den polisanmälan som lämnades in i början av juni 2015. Enligt anmälaren var samarbetsavtalet att betrakta som en muta för att kommunen ska bli vänligt inställd till slutförvaringen av använt kärnbränslet. Mot detta kan invändas att om varje handling som syftar till att göra en person eller organisation mer vänligt inställd till en överenskommelse är en muta – och därmed oetisk – så skulle varje affärsuppgörelse vara oetisk. Kort sagt: varje form av övertalning kan inte betraktas som oetisk. Det är orimligt.

Denna invändning mot icke-övertalningsvillkoret måste hanteras på något sätt. Det anser också Hannis och Rawles. Ett sätt är då att omformulera villkoret så att det gör rättvisa åt de etiska intuitioner som villkoret ger uttryck åt, men inte på ett sådant sätt som gör varje övertalning till en muta eller något oetiskt. Hannis och Rawles föreslår att man skiljer mellan (1) själva *erbjudandet* av en kompensation och (2) de *skäl* som en kommun har för att acceptera ett förslag från en industri att vara värd för ett slutförvar. Om det finns skäl att acceptera värdskapet för ett slutförvar som är oberoende av de förmåner som erbjuds kommunen, så är förekomsten av dessa förmåner och deras påverkan på den kommunala beslutprocessen av mindre betydelse. Mot denna bakgrund kan icke-övertalningsvillkoret omformuleras på följande sätt:

1.1 Det måste finnas skäl för att välja en särskild plats som är oberoende av själva erbjudandet om (en) kompensation. Dessa skäl utgörs av en serie olika kriterier av geologisk och geografisk art tillsammans med andra egenskaper som är utmärkande för en särskild plats. Dessa kriterier ska ha bearbetats i en öppen dialog och platsvalsprocess, där kommuninnevånarna har varit delaktiga. Skälen bakom kriterierna ska vara transparenta, väl förklarade och robusta.⁹

Hannis och Rawles skriver att detta argument framställs ”tentativt” och att det är ”ett klarare fall av kompensation – snarare än muta –

⁹ 1.1 There must be reasons for selecting a potential site that make sense independently of the compensation offer. These reasons will, presumably, take the form of a set of criteria referring to geological, geographical, and other features of potential sites. These criteria ... should be informed by a process of public debate and deliberation, so that members of potential host communities, will have been involved in the selection. The rationale behind the criteria should be transparent, well explained and understood to be robust (Hannis och Rawles, 2013, s. 360).

om avsikten att påverka beslutet inte var närvarande”. Men de framhåller att den relevanta faktorn inte är avsikten att påverka beslutet, utan närvaron eller frånvaron av oberoende skäl. Därför är 1.1 ett godtagbart etiskt villkor och öppnar för möjligheten att det kan finnas etiskt godtagbara kompensationsprogram (förutsatt att även andra relevanta villkor är tillgodosedda).

Vi delar denna slutsats och anser att det svenska mervärdesprogrammet i ett viktigt avseende är etiskt godtagbart. Men tre mer detaljerade frågor behöver lite utförligare diskussion.

För det första är frågan om SKB med mervärdesavtalet avsett att övertala kommunen att acceptera ett slutförvar. Enligt rådets uppfattning är detta inte avgörande ur etisk synpunkt. Den viktiga etiska frågan är om avtalet till sitt innehåll är av en sådan karaktär att det kan betraktas som oetiskt.

Det finns en aktivitet i samarbetsavtalet som skulle kunna anses vara problematisk ur etisk synpunkt. I avtalet – under rubriken ”Ersättning till Kommunerna för medverkan i mervärdesinsatsernas planering och genomförande” – står det följande:

För att Östhammars och Oskarshamns kommuner ska kunna upprätthålla en organisation som kan medverka i mervärdesprocessen och bidra i arbetet med att realisera mervärdesinsatserna avser SKB att erlagga en och en halv miljon kronor per kommun och år under en tioårsperiod med början 2010. Beloppet avses inräknas i de samlade mervärdena (Samarbetsavtal, 2009, bilaga 1, s. 5).

Enligt ett reportage i Sveriges Radio P 4 den 4 juni 2015 finansieras största delen av näringslivschefens lön i Östhammars kommun på detta sätt av SKB.¹⁰ Detta ifrågasattes enligt samma reportage av Olle Lundin, professor i förvaltningsrätt vid Uppsala universitet. Han har två invändningar: *för det första* riskerar denna del av avtalet att ”påverka allmänhetens omdöme om kommunen, att man tappar förtroendet för den och sitter i fickan på den som betalar”. *För det andra* finns det risk ”att den vars lön eller tjänst är finansierad – medvetet eller omedvetet – påverkas av varifrån finansieringen kommer”.¹¹

¹⁰ <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=114&artikel=6181021> (hämtad 2015-12-01).

¹¹ <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=114&artikel=6181021> (hämtad 2015-12-01).

I ett *Yttrande över inkomsten fråga*, framhäver kommunchefen kommunens integritet när det gäller ledningen och koordinationen av mervärdesprogrammet.¹²

Samtliga beslut, samtliga utbetalningar, avseende hur kommunen utför sitt åtagande i avtalet, fattas och utförs av den kommunala organisationen. Detta sker antingen på delegation eller av våra förtroendevalda. Beslut, prioriteringar och andra överväganden sker utifrån kommunala styrdokument, där kommunfullmäktiges årliga mål och budgetdokument har en särställning (Östhammars kommun, 2015).

Det bör dock framhållas att beslut om mervärdesavtalet tas av den styrgrupp där ordförande, vice ordförande och vd för SKB ingår jämte kommunstyrelsens ordförande i Oskarshamns och Östhammars kommuner. Näringslivscheferna i Oskarshamns och Östhammars kommuner är enligt SKB:s organisationsplan underställda inte endast styrgruppen utan också SKB:s direktion.¹³ Enligt vår uppfattning är professor Olle Lundins kritiska bedömning därför inte utan grund.

För det andra bör det framhållas att avsikten med samarbetsavtalet är att

bidra till väl fungerande kommunikationer, infrastruktur och breddad arbetsmarknad samt att allmänt sett skapa bättre förutsättningar för rekrytering av personal och kompetensutveckling för näringslivet i Oskarshamns och Östhammars kommuner ... (Samarbetsavtal, 2009, avsnitt 1.6).

Mot denna bakgrund kan ett exempel på en oetisk mervärdesinsats var en aktivitet som inte – eller inte förväntas – skapa mervärde för den aktuella kommunen. Huruvida detta är fallet eller inte med redan beslutade aktiviteter skulle kräva en särskild analys och kommer inte att göras i detta kapitel. Allmänt sett förefaller de olika typer av mervärdesinsatser som nämns i samarbetsavtalet vara av den karaktären att avsett mervärde kan skapas. Det yttersta ansvaret för detta har styrgruppen, vars arbetssätt är noga angivet i samarbetsavtalets avsnitt 4. Av central betydelse är de preliminära studier ("förstudier") där möjliga aktiviteter utreds (och som också publiceras på mervärdesprogrammets webbplats). Man förväntar

¹² Östhammars kommun. 2015. Yttrande över inkomsten fråga. AM-8080755-15.

¹³ <http://www.skbmervarden.se/om-mervardesavtalet/> (hämtad 2015-12-01).

sig att beräkningar av en tilltänkt aktivitets mervärde ska utgöra en väsentlig del av förstudien, men en översiktlig genomgång av publicerade förstudier visar att detta inte är fallet. Det är oklart om och var sådana bedömningar görs i andra delar av beslutsprocessen.

För det tredje är en etisk värdering av mervärdesprogrammet beroende av de insatser som gjorts av SKB i samband med att samarbetsavtalet förbereddes. Att ge ett erbjudande som inte kan avvisas ("an offer that cannot be refused") är givetvis oetiskt eftersom det begränsar kommunens autonomi. Exempel på andra oetiska metoder är bedrägeri, skrämning och inställsamhet.¹⁴

Det finns emellertid inte några belegg för att sådana övertalningsmetoder kommit till användning i samband med att samarbetsavtalet mellan kommunerna och SKB upprättades. Initiativet till avtalet kom ju också från kommunerna och inte från SKB.

4.6.2 Kommentarer till minsta möjliga risk-villkoret

Detta villkor är av central betydelse. Man kan inte kompensera någon för att gå med på att handla oetiskt.

Om en person övertalas att handla oetiskt med hjälp av en belöning, så är belöningen en muta och kan inte tolkas som en kompensation.¹⁵

Att acceptera att vara värd för ett slutförvar för använt kärnbränsle har också den tillkommande komplikationen att inte endast den nuvarande utan också framtida generationers välbefinnande är en avgörande del av frågan. Allting beror på hur allvarlig denna risk för skada är.

Icke-risk villkoret berör själva hjärtpunkten av slutförvarsfrågan. SKB:s ansökan om tillstånd att bygga ett slutförvar för använt

¹⁴ Man bör lägga märke till att det kan finnas situationer då bedrägligt förfarande är etiskt acceptabelt, t.ex. dölja en överraskningsfest för en person till vars ära festen arrangeras. På samma sätt är det inte etiskt felaktigt att använda en måttlig dos av skrämning för att övertyga ett barn om att hon inte bör acceptera en skjuts från personer hon inte känner. Att uppmuntra en person som fått dåligt betyg på en skrivning kan kanske uppfattas som inställsamhet men det är knappast etiskt problematiskt på samma sätt som att smickra en äldre släkting för att övertala henne att testamentera sin förmögenhet till sig. Exemplet är hämtat från:
https://debate.uvm.edu/dcpdf/ada2013/convince/pers16_20060909102103.pdf (hämtad 2015-12-01).

¹⁵ "If a person is persuaded by a reward to act unethically, the reward is a bribe, and cannot be construed as compensation." (Hannis och Rawles, 2013, s. 360).

kärnbränsle lämnades in 2011 och är för närvarande under prövning av berörda myndigheter. Enligt Hannis och Rawles finns det två etiska förpliktelser som man måste ta hänsyn till. För *det första* finns det en förpliktelse att minimera risken att skada nuvarande och framtida generationer. I sin ansökan har SKB lagt fram argument för att det är möjligt att uppfylla denna förpliktelse och att den kan uppfyllas genom den metod och på den plats SKB föreslår. Kommunerna eftersträvar givetvis att göra en noggrann och saklig bedömning av dessa argument, men kan naturligtvis påverkas av mervärdesprogrammets olika förmåner. Därmed uppstår det etiska dilemmat hur mervärden i närtid ska vägas i förhållande till eventuella risker för kommande generationer.

För *det andra* föreligger det också en risk att den kommun, vars fullmäktige godkänner ett slutförvar inom sina gränser därmed också delvis eller helt legitimerar en fortsatt avfallsproduktion, dvs. en framtida utbyggnad av kärnkraften. Hannis och Rawles skriver:

Det bör därför vara tydligt att man håller frågan var och hur kärnavfall ska förvaras åtskild från frågan om man ska fortsätta producera kärnavfall och radioaktivt avfall.¹⁶

Det finns mycket som talar för denna ståndpunkt. Kärnavfallsfrågan bör – kort sagt – hållas isär från kärnkraftsfrågan. Men i realiteten är detta knappast möjligt. Och det sammanhänger olyckligtvis med att valet av slutförvarsmetod kan påverkas av den eventuella nytta som det använda kärnbränslet har för framtida kärnreaktorer. Vid horisonten kan man skymta vissa reaktortekniker som inte bara skulle kunna nyttiggöra använt kärnbränsle utan också reducera både dess volym och skadlighet. Denna fråga har berörts i rådets kunskapslägesrapport 2011 och på rådets internationella konferens 2012.¹⁷ Därmed är kärnavfallsfrågan sammankopplad med kärnkraftsfrågan. Men det hindrar inte att man så långt det är möjligt bör försöka att hålla isär dem. Man skulle kunna välja en slutförvarsmetod som medger, men inte

¹⁶ "There should therefore be an explicit and genuine attempt to keep the question of where and how an RWMF is to be hosted separate from the question of whether radioactive material should continue to be produced." (Hannis och Rawles, 2013, s. 362).

¹⁷ <http://www.karnavfallsradet.se/> (hämtad 2015-12-01).

nödvändiggör ett återtag av det deponerade kärnavfallet.¹⁸ Enligt SKB är KBS-3 en sådan metod.

4.6.3 Kommentar till oberoende-villkoret

Som redan framhållits är vi helt eniga med Hannis och Rawles i deras uppfattning att ett erbjudande om ersättning som en del av ett försök att övertyga en kommun om att godta ett slutförvar inte i sig är oetiskt. Å andra sidan är det svårt att undvika intrycket av en muta om den person eller organisation som ger erbjudandet har en betydande fördel av att kommunen godtar erbjudandet. Det är detta som är huvudmotivet för oberoende-villkoret. Detta innebär att den organisation som erbjuder kommunen en ersättning inte ska vara eller ha koppling till kärnkraftsindustrin. Det undergräver ersättningserbjudandets trovärdighet.

Men även om detta resonemang kan verka övertygande, finns det också invändningar. För det första behöver en organisation med nära koppling till kärnkraftsindustrin – som exempelvis SKB – inte göra ett erbjudande om ersättning till något som kan uppfattas som oetiskt. Det är en empirisk fråga om ett erbjudande uppfattas på detta sätt eller inte. Under vissa omständigheter kan kärnkraftsindustrin ha ett stort förtroende från allmänheten och någon skugga behöver därmed inte kastas över något erbjudande om ett kompensations- eller mervärdesprogram.

För det andra kan också allmänheten finna det naturligt och kanske också vara en förpliktelse att den industri som ansvarar för kärnkraftens avfall inte endast har en skyldighet att ta hand om detta avfall utan också att ersätta den kommun som är villig att öppna för ett slutförvar.

Det är en tungt vägande invändning mot ett ersättningsprogram om det av kommuninvånare och andra uppfattas som en muta – även om det inte är det rent juridiskt. Om kärnkraftsindustrin eller en industri med nära koppling till kärnkraftsindustrin (som SKB) medverkar till ett sådant erbjudande är man skyldig att göra det trovärdigt att ett ersättningsprogram inte är någon muta eller i övrigt något oetiskt. Detta kan ske genom att bidra till att

¹⁸ Se även (Kärnavfallsrådet, 2013, kap. 4).

kommunen aktivt deltar i beslutsprocessen fram till ett ersättningsavtal och att kommunen också har ett betydande och civilrättsligt fastställt inflytande på fördelningen av ersättningsresurserna (Hannis och Rawles, 2013, s. 360).

Samarbetsavtalet mellan SKB och kommunerna uppfyller dessa krav. Styrgruppen består av två ledamöter från vardera Oskarshamns och Östhammars kommuner. Denna styrgrupp har från 2009 beslutat att fördela ca 125 miljoner av SKB:s resurser till de båda kommunerna.

Dessutom bör man lägga märke till att om regeringen beslutar om tillåtlighet, kommer merparten av mervärdet (75 procent) att skapas i Oskarshamns kommun och 25 procent i Östhammars kommun, där slutförvaret kommer att byggas. Anledningen till detta är att Östhammar ändå erhåller betydande fördelar av slutförvarsprojektet. Mot bakgrund av oberoendevillkoret begränsas därmed möjligheten att tolka mervärdesprogrammet som en muta eller på något annat sätt som oetiskt. Ur etisk synvinkel är detta en betydande fördel med det svenska mervärdesprogrammet.

Det finns dock ett problem med den överenskomna beslutsordningen enligt samarbetsavtalet. Av avtalet framgår att beslut i enighet ska eftersträvas, men om detta inte är möjligt ska en kvalificerad majoritet krävas, dvs. minst fyra (av fem) röster för. Detta skulle exempelvis kunna innebära att en mervärdesinsats i Oskarshamn skulle kunna beslutas mot Oskarshamns vilja, men med stöd av de tre representanterna från SKB och representanten från Östhammar. I praktiken är detta ett osannolikt scenario, men möjligt enligt samarbetsavtalets regelverk. Det är också en etiskt oönskad konsekvens eftersom den begränsar den kommunala autonomi.

Ett annat tänkbart sätt att svara mot oberoendevillkoret vore att finansiera ett lokalt mervärdesprogram via en särskild avgift och med en särskilt tillsatt offentlig grupp som beslutar om fördelning av intäkten till exempelvis sådana punkter som ingår i det nuvarande mervärdesprogrammet. Det ter sig fullt möjligt att på det viset kunna stärka oberoendet och transparensen men att samtidigt kunna behålla ett starkt, dock inte exklusivt, kommunalt och industriellt inflytande över beslutsfattandet i ett sådant organ. Beroende på sammansättningen av gruppen är det möjligt att stärka förutsättningarna att uppfylla även såväl icke-övertalningsvillkoret som minsta möjliga risk-villkoret.

4.6.4 Kommentarer till villkoret om det gemensamma bästa

Detta villkor anknyter till den tidigare diskussionen om den klassiska kompensations teorin och dess brister. Kojo och Richardson framhåller att kompensationsprogram tvärtom teorin inte alls uppfattas som en rättmätig lön för mödan, utan tvärtom som en muta, något som tränger ut ett mer moraliskt grundat samhällsansvar och/eller låter ett krasst marknadstänkande ta över. Det finns också vissa empiriska belegg för att dessa farhågor är berättigade. Hannis och Rawles hänvisar till en studie av Ortwin Renn m.fl., som tillfrågade ett representativt urval medborgare i Schweiz om de var beredda att tillåta byggnaden av ett slutförvar för använt kärnbränsle i sina lokalsamhällen (Renn, Webler och Kastenholz, 1998). Därefter ställdes samma fråga med tillägget att parlamentet beslutat om en ekonomisk kompensation för alla kommuninnevanorna. Svaret på den första frågan var positivt. 50,8 procent svarade att de var beredda att tillåta ett sådant slutförvar. Men den procentandelen sjönk till 24,6 procent när en information om ekonomisk kompensation lades till. Hannis och Rawles sammanfattar resultatet på följande sätt:

Studiens författare föreslår att en möjlig förklaring är att ersättningen uppfattades som en muta, och att anläggningen avsågs på grund av det.¹⁹

Återigen kan man invända att det finns skillnader mellan olika typer av ersättningar. Att få en summa pengar som en kompensation för att acceptera ett slutförvar för använt kärnbränsle är en sak – att få skolor och brandförsvaret i utbyte är något annat (Hannis och Rawles, 2013, s. 365 f. där också andra studier till stöd för denna skillnad anförs).

Detta antyder att det finns stöd för någon slags kompensation till slutförvarskommuner i form av förmåner eller varor i stället för pengar. Kompensationsinsatserna måste helt enkelt anpassas till den typ av relation som råder mellan den som erbjuder kompensationen och den som mottar den. Hannis och Rawles hänvisar till en analys som gjorts av den amerikanske samhällsvetaren Edmundo

¹⁹ ”The authors of the study suggest that one possible explanation is that the compensation was perceived as a bribe, and the facility was rejected for this reason” (Hannis och Rawles, 2013, s. 364).

Claro. Claro skiljer mellan tre olika utbytesrelationer: handlingar i en familjegemenskap, handlingar i rättvisesammanhang och slutligen handlingar på en marknad (Hannis och Rawles, 2013, s. 366; Claro, 2007).

Frågan om en kompensation är relevant eller inte sammanhänger med den rådande utbytesrelationen. I en annan artikel har Claro ett belysande exempel. En person hjälper en annan med en flyttning. Om en far hjälper en son, så är det en form av familjehandling och någon kompensation är inte förväntad. Om en vän hjälper en annan, så är det en form av rättvisefråga och en symbolisk ersättning är kanske lämplig. Om man beställer hjälp från en flyttfirma är det en marknadsfråga om ekonomisk ersättning. Claro förtydligar tillämpningen på kompensationsfrågan när det gäller valet av plats för använt kärnbränsle på följande sätt:

Om någon anser att lokaliseringsproblemet är ett gemensamt samhälleligt problem och hon erbjuds pengar som kompensation, kommer hon att reagera med ilska och indignation. Anledningen är inte bara att köpsläendet är bisarrt, utan även att det hotar grundläggande aspekter av hennes förståelse av sociala relationer och samhället.²⁰

Det innebär att om kompensation erbjuds i ett samhälle präglad av starka gemenskapsideal, kan det uppfattas som särskilt utmanande och som en slags degradering av samhällsgemenskapen till en marknadsrelation.

Om man ser till den svenska situationen kan det naturliga kanske vara att uppfatta relationen mellan SKB och kommunerna inte som en marknadsrelation, utan som en utbytesrelation i form av en rättvis samverkan. Ett mervärdesprogram blir mot denna bakgrund en del av en rättvis fördelning av resurser i samband med förberedelse och genomförande av slutförvarsprojektet. Det som kompenseras behöver i första hand inte vara de risker som projektet medför, utan snarare de särskilda insatser som kommunen genomför för att det komplicerade och långvariga slutförvarsprojektet ska bli framgångsrikt förverkligat. Detta leder över till det sista villkoret.

²⁰ "(I)f someone who frames the siting problem as a communal sharing one is offered money as compensation, she will react with anger and indignation, not only because the tradeoff is bizarre, but because it threatens fundamental aspects of her understanding of social relationships and society." (Claro, 2001; Se även Hannis och Rawles, 2013, s. 366).

4.6.5 Kommentar till villkoret om värdeengagemang

Om man väljer att betrakta förhållandet mellan den som erbjuder och den som mottar kompensation för att vara värd för ett slutförvarsprojekt som en marknadsrelation, ligger det nära till hands att beskriva den i termer av en kostnads-nyttoanalys (i en snävare kommersiell mening). I så fall förutsätter man att det finns ett ekonomiskt värde till vilket alla kostnader och förmåner kan och bör översättas (Hannis och Rawles, 2013, s. 367 f).

En sådan kostnads-nyttoanalys kan förknippas med en utilitaristisk etik. Olika slutresultat jämförs med varandra och man bör välja det handlingsalternativ, som leder till den mest gynnsamma balansen av kostnader och förmåner. Kompensation är då att betrakta som ett försök att omfördela kostnader och förmåner, så att en rimlig balans uppnås mellan kostnader (i form av risker, pålagor, eller arbetsuppgifter) och förmåner (i form av olika kompensationsinsatser).

Hannis och Rawles motsätter sig den utilitaristiska ansatsen och ett kompensationsprogram som vilar på en kostnads-nyttoanalys. De anför fyra olika skäl för sin uppfattning. *Det första skälet* handlar om ojämförbarheten mellan marknadstänkande och sociala relationer. De hänvisar bl.a. till ett arbete av nationalekonomen John O'Neill:

Vissa sociala relationer och värdegrundade åtaganden vägrar att låta sig prissättas - - - Skillnaden mellan kärlek, vänskap och den ekonomiska marknaden är att man varken kan köpa kärlek eller vänskap. Att tro det skulle vara att missförstå de relationerna. Att acceptera ett pris blir därför ett svek och att erbjuda ett pris blir därför en muta.²¹

De relationer som O'Neill beskriver är en del av innebörden av ett gott mänskligt liv. De kan inte "prissättas" i ordets kommersiella mening. Och en vägran att göra detta är en reaktion mot vad de som erbjuds en kompensation uppfattar som missuppfattning hos de som vill göra en sådan prissättning. Så långt är vi eniga med O'Neill, Hannis och Rawles. Men att därifrån sluta sig till att alla former av kompensations- eller mervärdesprogram "förråder" de

²¹ (T)here are certain social relations and evaluative commitments that are constituted by a refusal to put a price on them - - - Given what love and friendship are, and given what market exchanges are, one cannot buy love or friendship. To believe one could, would be to misunderstand those very relationships. To accept a price is an act of betrayal, to offer a price is an act of bribery." (O'Neill, 2007, s. 23, 25).

sociala relationer som dessa program handlar om, är enligt vår mening att gå alldeles för långt. Ett kompensations- eller mervärdesprogram kan tvärtom beskrivas som ett försök att bevara sådana sociala relationer, dvs.

... relationerna mellan de som kommer överens om att vara värd för en slutförvarsanläggning, deras barn, barnbarn och barnbarns barn; och relationerna mellan dessa människor och vissa värden i deras lokala sammanhang.²²

Detta förutsätter givetvis (1) att slutförvaret i sig är säkert både för den nuvarande och för kommande generationer och (2) att t.ex. ett mervärdesprogram av den typ som överenskommit mellan SKB och kommunerna är av den art att det effektivt motverkar andra negativa konsekvenser av ett sådant förvar.

Det andra skälet som Hannis och Rawles har mot kostnads-nyttobestämda kompensationsprogram är att de inte öppnar för möjligheten av andra bedömningar än ekonomiska. De utgår ensidigt från subjektiva preferenser och de kostnads-nyttobereäkningar som utgår från dessa preferenser. Men det är inte rimligt att utesluta en kritisk diskussion om dessa preferenser och därmed främja en diskussion om t.ex. de verkligen bidrar till att skapa de mervärden som de enligt mervärdesprogrammet är avsedda att skapa. Detta ligger helt i linje med det svenska mervärdesprogrammet.

Det tredje skälet är en mer generell invändning mot utilitarismen som en etisk teori. Hannis och Rawles framhåller att strävan efter att finna det handlingsalternativ som minimerar kostnader och maximerar fördelar är helt förenligt med en orättvis fördelning mellan människor och ett övergrepp mot deras rättigheter. Detta är en vanlig invändning mot utilitarismen som det inte finns utrymme att närmare behandla i detta sammanhang. (Se t.ex. Tännsjö, 2000, s. 42 ff). Det bör dock framhållas att det vore både möjligt och önskvärt att föra en sådan diskussion inom ramen för utformningen och tillämpningen av det svenska mervärdesprogrammet.

Den fjärde invändningen som Hannis och Rawles har mot kostnads-nyttobestämda kompensationsprogram är att de utgår

²² "the relationships between those agreeing to host the management facility, their children, grand children and great grand children: and the relationships between these people and valued features of their local environment" (Hannis och Rawles, 2013, s. 368).

från att det alltid finns ett riktigt svar på alla etiska frågor. De hävdar i stället att erfarenheten lär oss att vissa etiska problem är olösliga och att vi ändå måste välja ståndpunkt. Vi behöver, kort sagt, ett etiskt perspektiv som främjar etisk uthållighet. Alla handlingsalternativ har sina etiska brister och vi behöver:

(e)n kontinuerlig översyn/omprövning av de omständigheter som har lett till att vi tvingas att välja mellan ett antal alternativ som alla är etiskt problematiska på något sätt.²³

Denna iakttagelse kan kopplas till ett avslutande avsnitt i samarbetsavtalet mellan SKB och kommunerna:

Parterna är medvetna om att Samarbetsavtalet syftar till att reglera samarbetet mellan Parterna under en lång tid och att förändringar av Samarbetsavtalet kan komma att bli nödvändiga, t.ex. i händelse av ändrad lagstiftning, förändrade ägarstrukturer inom SKB, nya myndighetskrav m.m. Parterna ska i händelse av väsentligt förändrade förutsättningar ta upp förhandlingar i syfte att försöka anpassa Samarbetsavtalet till de nya förutsättningarna. Alla förändringar och tillägg av Samarbetsavtalet ska dock ske skriftligen och undertecknas av samtliga parter (Samarbetsavtal, 2009, 6.3).

Samarbetsavtalet hade kunnat stärkas av att inbegripa en paragraf om regelbundna utvärderingar och en bedömning av om ändamålet med avtalet blivit uppfyllt och på vilket sätt beslutade mervärdesinsatser bidragit till att förbättra den sociala och infrastrukturella utvecklingen i de båda kommunerna. Detta skulle kunna bidra till en framtida förbättring av samarbetsavtalet.

4.7 Slutsatser

I detta kapitel har vi inledningsvis behandlat den teoretiska bakgrunden i forskningen om kompensation till lokala gemenskaper för att tillåta anläggning och drift av t.ex. slutförvar för använt kärnbränsle. Denna (låt vara kortfattade) analys synes leda till två slutsatser. Den *första* är att det finns brister i den klassiska teori-bildningen. Dessa brister sammanhänger med att teorierna inte tar

²³ "a continuous review of the circumstances that have led to our being compelled to choose from a set of options all of which are ethically problematic in some way" (Hannis och Rawles, 2013, s. 371).

tillräcklig hänsyn till de speciella sociala och värdegrundade relationer inom lokalsamhället och mellan detta och samhället i stort. Det kan inte uttömmande beskrivas som kommersiell marknad, utan också som en förpliktande gemenskap. Detta förklarar att den förväntade uppskattningen av finansiell kompensation för en slutförvarslokalisering inte uppstår.

Den *andra* slutsatsen är att ett mervärdesavtal av den karaktär som slutits mellan SKB, SKB:s ägare och de två kommuner som berörs av slutförvarsprojektet inte kan betraktas som ett kompensationsprojekt i gängse mening. Mervärdesavtalet syftar till en långsiktig uppbyggnad av en social och ekonomisk grundstruktur, så att slutförvarsprojektet kan genomföras på ett framgångsrikt sätt. Det är inte endast en teknisk fråga, utan också en fråga om arbetsmarknad, utbildning och kommunikationer.

I detta kapitel har vi också belyst mervärdesavtalet ur ett etiskt perspektiv. Utgångspunkten har varit de fem etiska villkor som explicit eller implicit återfinns i Mike Hannis och Kate Rawles betydelsefulla bidrag i Deborah Oughtons och Sven Ove Hanssons antologi *Social and Ethical Aspects of Radiation Risk Management* (2013). Dessa olika villkor har vi benämnt icke-övertalningsvillkoret, minsta-möjliga-riskvillkoret, oberoendevillkoret, villkoret om det gemensamma bästa och villkoret om värdeengagemang. I en mer eller mindre modifierad form är de tillämpliga också på det svenska mervärdesavtalet och har lett oss fram till slutsatsen att detta avtal från de angivna utgångspunkterna och i sina huvuddrag är etiskt godtagbart. Vissa inslag kan visserligen ifrågasättas och rådet understryker behovet av en regelbunden utvärdering av avtalets innehåll och tillämpning.

Slutligen finner rådet det angeläget att medvetandegöra de involverade parterna om att avtal av denna karaktär rymmer både möjligheter och risker. Under förutsättning att slutförvarsprojektet godkänns, har mervärdesprogrammet en potential att skapa förutsättningar för projektets framgångsrika genomförande. Samtidigt finns det en risk att programmet med sina starka incitament kan utöva en negativ inverkan på säkerhetsmässiga och riskrelaterade bedömningar. Det är svårt att utesluta att en sådan medveten eller omedveten inverkan kan finnas. Men dessa risker får inte skymma blicken för programmets positiva möjligheter och fördelar.

Referenser

- Claro, E. 2007. Exchange relationships and the environment: the acceptability of compensation in the siting of waste disposal facilities. *Environmental Values* 16, no. 2: 187–208.
- Claro, E. 2001. Counterbalancing environmental losses: different compensation mechanisms and their performance in siting a sanitary landfill. Paper presented at ESEE conference "Frontiers1: Fundamental issues of ecological economics". Cambridge 2001: 4–7.
- Hannis, M. och Rawles, K. 2013. "Compensation or Bribery? Ethical Issues in Relation to Radwaste Host communities". I Oughton, D. och Hansson, S-O (red.) *Social and Ethical Aspects of Radiation Risk Management*: 347–374. 1:a utgåvan.
- Kojo, M. och Richardson, P. 2012. *The Added Value Approach – Clarifying the Key Concepts*. IPPA Deliverable 4.1.
- Kärnavfallsrådet. 2014. SOU 2014:11 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2014. Forskningsdebatt, alternativ och beslutsfattande*. Stockholm: Fritzes.
- Kärnavfallsrådet. 2013. SOU 2013:11 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2013. Slutförvarsansökan under prövning: kompletteringskrav och framtidsalternativ*. Stockholm: Fritzes.
- Kärnavfallsrådet. 2004. SOU 2004:67 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2004 – Del II Att hantera kärnavfallens risker. En översikt över metoder, problem och möjligheter*. Stockholm: Fritzes.
- O'Neill, J. 2007. *Markets, Deliberation and Environment*. London: Routledge.
- Polisen. 2015. *Övrigt åklagarbeslut* (2015-06-22). Dnr. 5000-K685718-15.
- Renn, O., Webler, Th. och Kastenholz, H. 1998. Procedural and Substantive Fairness in Landfill Siting. I Löfstedt, R. och Frewer, L. (red.). *The Earthscan Reader in Risk & Modern Society*. London: Earthscan: 253–270. (Reprint from *Journal of Risk – Health, Safety & Environment* 1996).
- Richardson, P. 2010. Community Benefits and Geological Disposal. *An International Review*.

Se: http://www.westcumbriamrws.org.uk/documents/140-Community_Benefits_International_Review_by_Galson_Sciences.doc (hämtad 2015-12-01).

Samarbetsavtal angående utvecklingsinsatser i Oskarshamns och Östhammars kommuner i anslutning till genomförandet av det svenska kärnavfallsprogrammet. 2009.

Se: <http://www.skbmervarden.se/ladda-hem/mervardesavtalet.pdf> (hämtad 2015-12-01).

Tännsjö, T. 2000. *Grundbok i normativ etik*. Stockholm: Thales.

Östhammars kommun. 2015. Yttrande över inkommen fråga. AM-8080755-15.

5 Jordbävningar och jordbävningssrisker i Sverige

Jordbävningar kan orsaka stora skador på byggnader och infrastruktur, kärntekniska anläggningar inberäknat, och de kan utlösa andra naturkatastrofer som jättevågor (tsunami) och jordskred. I detta kapitel beskrivs vad som orsakar jordbävningar, vad en jordbävningens magnitud innebär, samt kända jordbävningar och risken för större skalv i Sverige.

5.1 Bakgrund

Efter den stora jordbävningen i Japan 2011 som hade en storlek (dvs. magnitud) på 9,1 rekommenderar IAEA att en jordbävningssriskanalys ska utföras för alla kärntekniska anläggningar. Trots att Sverige och Finland ligger i ett lågriskområde för kraftiga jordbävningar har en sådan analys utförts för det planerade kärnkraftverket på Hanhikivihalvön i Pyhäjoki i finska Österbotten (Korja och Kosonen, 2014), och efter uppmaning av finska Strålsäkerhetscentralen (STUK) påbörjades dessutom arbetet med en jordbävningssriskanalys 2014 för de existerande kärnkraftverken i södra Finland.

När en jordbävning inträffar sker en förskjutning utmed sprickor i berggrunden och rörelsens längd kan vara allt ifrån bråkdelen av en millimeter till flera meter beroende på jordbävningens magnitud och berggrundens egenskaper. För ett slutförvar för använt kärnbränsle kan en kraftig jordbävning öppna sprickor i berget och skada buffert och kapslar med risk för att radionuklider sprids. Kopparkapslarna i KBS-3-metoden utgör en mekanisk barriär mellan avfallet och bentonitbufferten. Enligt SKB ska kopparkapslarna klara av en förskjutning på 5 cm, som skulle

kunna vara orsakad av en jordbävning, utan att deras funktion påverkas (SKB, 2011).

I Sverige förekommer jordbävningar dagligen. De är normalt för små för att märkas och kan endast uppfattas av mycket känsliga instrument, s.k. seismometrar. Det första seismiska instrumentet i Sverige installerades 1904 och i dag finns 65 permanenta seismiska mätstationer runt om i landet, som drivs av det svenska nationella seismiska nätet (SNSN)¹ vid Uppsala universitet. SNSN registrerar i medeltal ca 600 jordbävningar i Sverige per år, och de flesta av dessa har en magnitud på <2,5. Med anledning av instrumentens känslighet ökar antalet registrerade skalv med antalet stationer.

Det kraftigaste skalvet som uppmätts i eller i närheten av Sverige är Kosteröskalvet 1904, eller Oslofjordskalvet som det också kallas. Skalvet inträffade bara veckor efter att den första svenska seismografen installerats i Uppsala. Trots att dessa tidiga instrument var okänsliga i jämförelse med moderna seismometrar var skalvet så pass kraftigt att det översteg mätarens maxnivå. Skalvet registrerades även av andra instrument i Europa och med hjälp av dessa har magnituden kunnat fastställas till 5,4 på moderna magnitudskalor (Bungum m.fl. 2009). Det finns även metoder att uppskatta magnituden på skalv som inträffat innan seismiska instrument installerats, s.k. historiska eller pre-instrumentella skalv. I Sverige sträcker sig denna tid tillbaka till år 1375 och sedan dess har endast ett till skalv med en magnitud över 5 noterats, också det vid västkusten.

De naturliga jordbävningarna i Sverige orsakas antingen av storskaliga tektoniska krafter, eller i kombination med den återjustering av jordskorpan som pågår efter avsmältning av den senaste istidens mäktiga inlandsis. Mer om detta i kommande text.

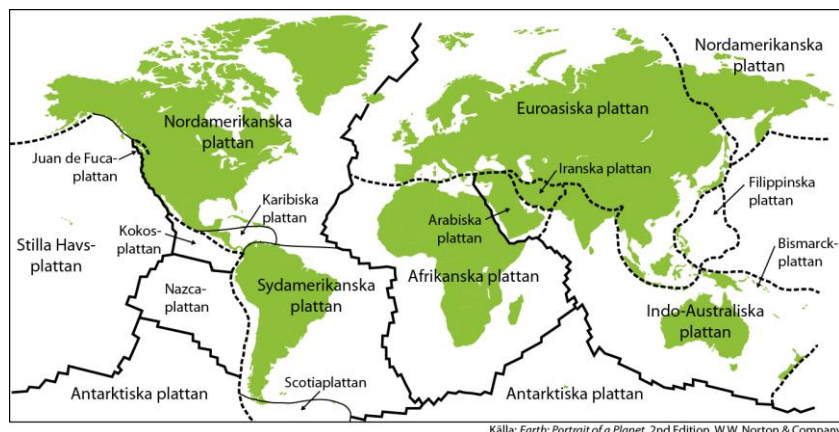
5.2 Orsaken till naturliga jordbävningar

Kraftiga jordbävningar sker framför allt i gränsen mellan s.k. litosfärsplattor (fig. 5.1), eftersom plattorna konstant men långsamt rör sig i förhållande till varandra. Storleken och antalet litosfärsplattor har varierat under jordens 4,5 miljarder år och i dag

¹ <http://www.snsn.se/> (hämtad 2015-12-01).

finns det sju större och 13 mindre plattor, och ett antal som är mindre väldefinierade. Sverige ingår i den Euroasiska plattan som även större delen av Europa och fastlandsasien tillhör.

Figur 5.1 Litosfärsplattor

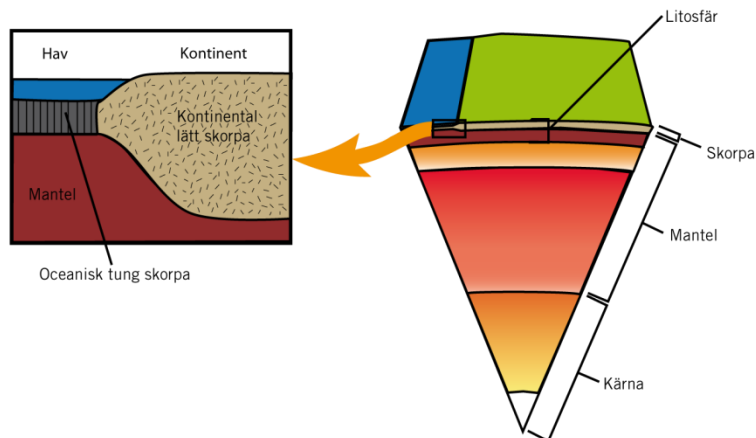


Källa: *Earth: Portrait of a Planet*, 2nd Edition, W.W. Norton & Company

Jorden består av sju större och 13 mindre tektoniska litosfärsplattor. Sverige ligger på den Euroasiska plattan. Den största horisontella bergspänningen i Sverige beror på påtryckningar från den centrala mittatlantiska ryggen som i Nordatlanten öppnar sig med 2–3 cm/år.

Litosfären utgörs av jordens yttre delar och består av den yttre skorpan och den övre och styva delen av den underliggande manteln.

Figur 5.2 Genomsnitt genom jorden



Jorden är indelad i ett antal zoner där den yttersta zonen utgörs av litosfären som i sin tur består av den övre stela delen av manteln och av skorpan. Skorpan är lättare och tjockare på kontinenterna och tunnare och tyngre under haven.

Litosfärens tjocklek varierar mellan 100 och 250 km och är över lag tunnare i havsområden som domineras av en oceanisk jordskorpa. Som tjockast är litosfären i områden med gammal kontinental jordskorpa, som till exempel i Sverige.

Jordbävningar uppstår då lagrad elastisk spänningsenergi frigörs genom att berggrundens hållfasthet överskrids och snabba förskjutningar sker utmed äldre eller nybildade sprickor i berggrunden. Den frigjorda energin alstrar olika typer av seismiska vågor som är indelade i *volymvågor* och *ytvågor*. Intensitet för både volymvågor och ytvågor avtar med avståndet från det område där energin frigjordes (hypocentret eller fokus för jordbävningen).

Volymvågor sprider sig koncentriskt genom jorden från hypocentret på ett liknande sätt som ljudvågor fortplantar sig i fast material. De utgörs av primära P-vågor, som fortplantas longitudinellt genom kompression och expansion av materialet vågorna rör sig igenom och av sekundära transversella S-vågor som rör sig genom svängningsrörelser vinkelrätt emot själva fortplantningsriktningen (Tarbuck m.fl. 2011).

Ytvågorna rör sig bara längs med jordytan både som vågrörelser upp och ner, som vågor på havet, och i sidled. Det är den senare

sidledsrörelsen som orsakar de största skadorna på byggnader och infrastruktur.

De kraftigaste och djupaste jordbävningarna sker där två litosfärplattor kolliderar, då den tyngre plattan trycks ner under den med lägre densitet. Detta sker till exempel utmed Sydamerikas västkust och i Himalaya. Kraftiga jordbävningar sker även där plattorna glider längs med varandra som i Kalifornien. Grundare jordbävningar som frigör mindre energi är vanliga vid spridningzoner där litosfärplattorna glider ifrån varandra som vid den mittatlantiska ryggen som löper i stort sett mitt igenom hela Atlanten (se fig. 5.1).

De flesta av de energirika jordbävningar som står för 95 procent av den frigjorda jordbävningensenergin förekommer kring Stilla Havet (eldsringen eller ”ring of fire”) och utmed det bergskedjeområde som sträcker sig från Alperna via Grekland och Turkiet till Himalaya och sydost därom, som alla utgörs av kolliderande litosfärplattor.

Området där en jordbävning genereras, jordbävningens fokus eller hypocenter, varierar från helt ytligt ner till ett djup av 680 km, och jordbävningarna delas in i grunda (<70 km), medeldjupa (70–300 km) och djupa (>300 km) (Kearny och Vine, 1996). Alla jordbävningar i Sverige är grunda.

Förutom genom platttektoniska processer kan jordbävningar även uppstå i områden som blivit belastade av eller avlastade från stora mängder is eller vatten. Sverige ligger sedan miljontals år långt från aktiva plattkanter, men de bergspänningar som finns i svensk berggrund är framför allt orsakad av påtryckningar från den oceaniska spridningzonen som sträcker från norr till söder genom Atlanten (se fig. 5.1).

Vid spridningzonen öppnar sig Atlanten med 2–3 cm/år, vilket innebär att berggrunden i Sverige trycks ihop från en nordvästlig till västnordvästlig riktning. Påtryckningen ger upphov till den maximala bergspänningen σ_1 , som är nära horisontell och uppgår vanligtvis (normaliserat) till 20–30 megapascal (Stephansson m.fl. 1991). Den svenska berggrunden påverkas också till mindre del av spänningar orsakade av den senaste upp till 3 km tjocka inlandsis som täckte Sverige fram till för 15 000–9 500 år sedan (Lagerbäck och Sundh, 2008).

5.3 Jordbävningsmagnitud

En jordbävning sker alltså när den ackumulerade spänningen överskrider berggrundens hållfasthet som då spricker eller orsakar rörelser utmed existerande sprickplan, s.k. förkastningar. Den frigjorda vibrationsenergin, eller jordbävningens magnitud, är proportionell mot rörelsens storlek och sprickplanets area. Eftersom spänningen i berggrunden måste byggas upp efter ett skalv då spänningsenergin frigjorts sker jordbävningar episodvis och antalet jordbävningar med en viss magnitud sker med viss regelbundenhet. Kraftiga jordbävningar sker mer sällan än små och generellt minskar antalet skalv med en faktor 10 för varje magnitudsteg.

Den mest kända, och i media använda, skalan för att beskriva storleken på (magnituden) en jordbävning är Richterskalan, som i stort sett motsvaras av den modernare M_L -skalan där M står för magnitud och L för lokal. Richterskalan upprättades på 1930-talet för att mäta magnituden av skalv med epicentrum i Kalifornien och den numera använda M_L -skalan är kalibrerad till skalan för det ursprungliga instrumentet (Bödvarsson m.fl. 2006).

Richterskalans magnitud är snabb att beräkna, och magnituden i sig är relaterad till den uppmätta amplituden av ytvibrationer och avståndet till epicentrum. Skalan är logaritmisk, vilket innebär att amplituden på ytvibrationerna för en jordbävning med magnitud 5,5 är 10 gånger högre jämfört med ett 4,5-magnitud skalv och den frigör 32 gånger mer energi. Richterskalan och den jämförbara lokala magnitudskalan är användbara för mindre kraftiga och grunda skalv (<70 km) med epicentrum inom en radie på 600 km från mätstationerna.

Momentmagnitudskalan, M_w , där M står för magnitud och W för moment kan även användas för att beräkna magnituden för de kraftigare jordbävningarna, över den storlek där M_L -skalan är tillämpbar. M_w -skalan motsvarar i stort sett den totala frigjorda vibrationsenergin och är den skala som bäst tar hänsyn till jordbävningarnas fysikaliska mekanismer. M_w -magnitudens storlek är relaterad till den totala rörelsen utmed en förkastningsyta, arean på ytan utmed vilken rörelsen skett och bergets elastiska egenskaper.² I likhet med M_L (och Richterskalan) är varje magnitudsteg

² <http://www.snsn.se/> (hämtad 2015-12-01).

ekvivalent med 32 gånger högre frigjord energi. M_w magnituder på mindre än 2 är oftast inte märkbara och eventuella materiella skador sker först vid M_w större än 4 (Tarbuck m.fl. 2011).

5.4 Jordbävningar i Sverige

Seismisk aktivitet, dvs. ytvibrationer som orsakas av jordbävningar, är inte homogent fördelat i Sverige utan är koncentrerade till området runt Vänern, Norrlandskusten och utmed de s.k. postglaciala förkastningarna i framför allt Skellefteåområdet och i norra Norrbotten.

Jordbävningarna runt Vänern förekommer i gränsen mellan två berggrundsprovinser i sydvästra Sverige (mellan Östra segmentet och Idefjordterrängen) och anses vara orsakade av de plattetektoniska krafter som öppnar Atlanten vid mittatlantiska ryggen.

Ett annat jordbävningskluster finns i allra sydligaste Sverige utmed den s.k. Sorgenfrei-Tornquistzonen som sammanfaller med en mycket gammal litosfärsplattskant (Söderbäck, 2008). Den senaste större jordbävningen i Sverige utmed Sorgenfrei-Tornquistzonen inträffade 2012 i Kattegatt 5 mil väster om Halmstad och hade en magnitud på 4,1.

Jordbävningskoncentrationen i Norrland har ett mer komplext ursprung och är troligen orsakad genom en kombination av plattetektoniska krafter, förkastningar mellan områden med olika geologi och litosfärens återjustering till yttligare nivåer efter senaste istiden. De postglaciala förkastningarna förekommer framför allt i norra Norrlands inland och på ett fåtal platser längre söderut och ett i området nära Skellefteå. De flesta har en utsträckning i NNO och följer äldre, flera kilometer djupa sprickzoner i berget. Förskjutningen i höjddled kan följas i upp till 10-tals mil och är i regel mellan 1 till 10 m, men kan vara större som i Laino-Suijavaara förkastningen där den vertikala förskjutningen är 30 m (Korja och Kosonen, 2014).

För varje individuell postglacial förkastning anses förskjutningar vara ett resultat av en enda jordbävning inklusive eventuella för- och efterskalv som inträffade under, strax efter och i vissa fall innan, avsmältningen av den senaste inlandsisen (Lagerbäck och Sundh, 2008). Magnituden på dessa skalv har uppskattats till 8 eller

mer (Arvidsson, 1996; Mörner, 2003; Lindblom m.fl. 2015), medan skalven vid de postglaciala förkastningar som är seismiskt aktiva än i dag har en magnitud som vanligtvis understiger 4. Tillsammans med Vänern är området kring en av dessa förkastningar (Burträsk-förkastningen) söder om Skellefteå de mest jordbävningstäta i Sverige (Juhlin och Lund, 2011). Där har mer än 1 500 skalv uppmätts sedan 2012, de flesta är dock mycket små ($M_L < 2$) men är upp till 35 km djupa (Lund m.fl. 2014).

De flesta naturliga jordbävningar i Sverige har sitt hypocenter på mellan 7 och 40 km (Korja och Kosonen, 2014). De är vanligtvis grundare än ca 20 km. Den ytligast uppmätta jordbävningen med en signifikant magnitud ($> 2,5$) var Norrtäljeskalvet 1979 (M_L 3) som hade ett fokus på ett djup av endast 800 m. Förskjutningen utmed en förkastning som sker till följd av att berggrundens elastiska hållfasthet överskridits är direkt proportionell mot jordbävningens magnitud och arean på ytan där rörelsen skett. För jordbävningar med en magnitud < 1 är den totala rörelsen mindre än 1 mm fördelat på en radie på kanske 100–200 m, för en magnitud 5 jordbävning är det totala rörelsebeloppet normalt mellan 0,5 till 50 cm fördelat på en förkastningsyta med en radie på upp till en kilometer (Bödvarsson m.fl. 2006). Det innebär att förskjutningen per ytenhet är liten och är fokuserat till området runt hypocentret.

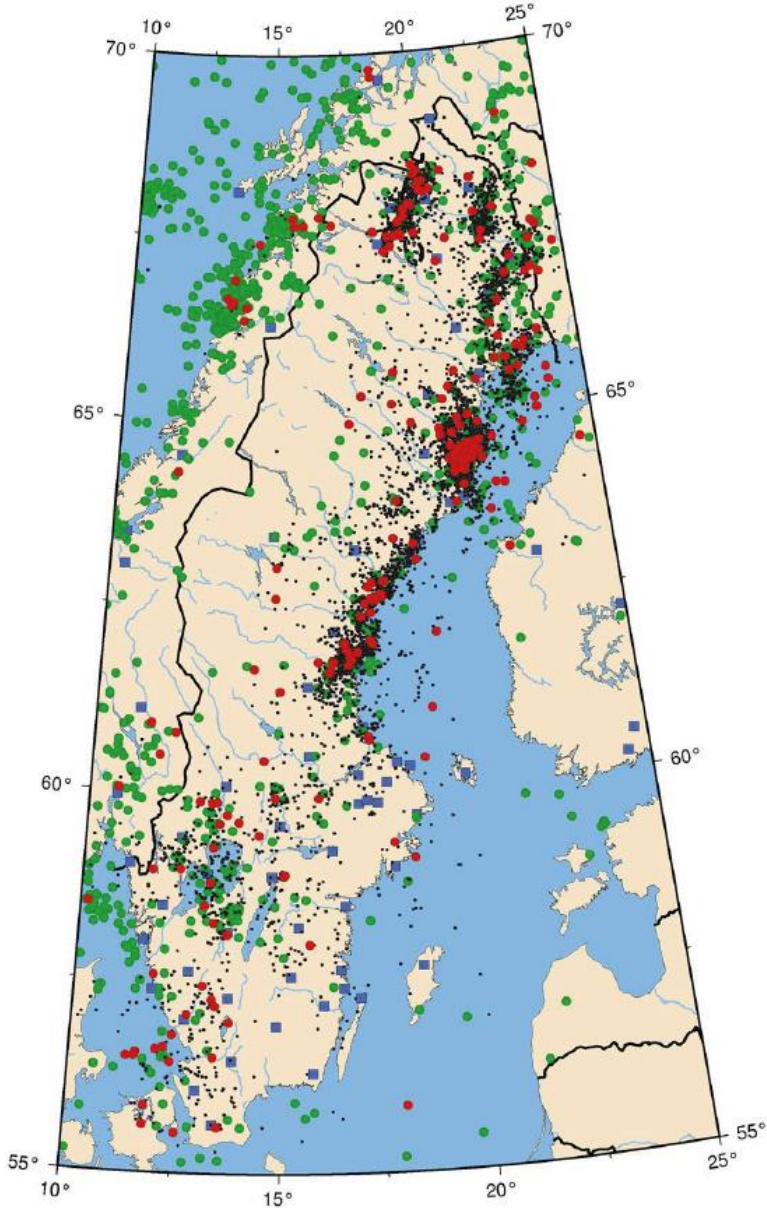
Varje dag registrerar de 65 seismiska mätstationerna som drivs av SNSN i medeltal två naturliga skalv, runt åtta inducerade skalv på grund av sättningar i djupa gruvor och 20–30 sprängningar i anslutning till stenbrott och byggen. De gruvinducerade skalven är grunda och lokala men kan vara nog så kraftiga. Ett gruvinducerat skalv som drabbade Malmberget sommaren 2015 hade en magnitud på 3,5.

Den kraftigaste jordbävningen som uppmäts i Sveriges närhet sedan seismiska instrument installerats är det s.k. Kosteröskalvet 1904 med ett epicenter söder om Oslofjorden. Detta skalv hade en magnitud på 5,4 (Bungum m.fl. 2009). Det var alltså signifikant kraftigare än jordbävningen en magnitud på 4,8 som inträffade utanför Kaliningrad 2004 och tydligt kändes i stora delar av Skåne.³ Jordbävningar med en viss magnitud inträffar med viss statistisk

³ <http://www.snsn.se/> (hämtad 2015-12-01).

regelbundenhet. De flesta skalven i Sverige har en magnitud $<2,5$ och förekommer relativt ofta. I snitt sker två skalv med magnitud 3 per år, ett skalv med magnitud 5 var hundra år och statistisk kommer ett skalv med magnitud 6 att ske var tusende år (Bödvarsson m.fl. 2006). Var dessa kommer att ske är svårt att förutsäga eftersom relativt kraftiga jordbävningar kan förekomma i områden som under lång tid varit seismiskt inaktiva, som till exempel skalvet i Kaliningrad 2004. Detsamma gäller för det senaste större skalvet i Sverige som inträffade den 15 september 2014. Skalvet utlöstes på 12 km djup strax söder om Sveg och hade en magnitud på 4,1.

Figur 5.3 Jordbävningar i Sverige och dess närområde



Jordbävningar med en magnitud på ≥ 2 i Sverige och dess närområde mellan 1965 och 2015. Gröna prickar är från den samnordiska katalogen (FENCAT) 1965–1999, röda prickar Svenska seismiska nätverket (SNSN) från mellan 2000–2015 och svarta prickar är alla skalv (SNSN).

Källa: Svenska seismiska nätverket.

5.5 Slutsats

För ett slutförvar för använt kärnbränsle är jordbävningar som orsakas av på och avlastning av vatten och is i anslutning till en istid också relevanta. I ett sådant 100 000-års perspektiv visar numeriska modelleringar som tagit hänsyn till både plattetektoniska och glaciala processer att 40 jordbävningar med en magnitud större än 7 och 6 stycken med en magnitud ≥ 8 kan inträffa i Sverige (SKB, 2011). Att kraftiga jordbävningar sker i anslutning till avsmältning av mäktiga inlandsisar är de stora postglaciala förkastningarna i Norrbotten ett tydligt bevis för. Trots att Sverige har varit nedisat vid ett flertal tillfällen under de senaste miljoner åren finns det inga spår av kraftiga jordbävningar i Forsmarkstrakten (Lagerbäck och Sundh, 2008) och området är seismiskt lugnt även i dag.⁴ Beräkningar baserade på antal registrerade jordbävningar och deras magnituder visar att en jordbävning med en magnitud på ≥ 5 inom en radie på 5 km är 1: 2,4 gånger 1 000 000, dvs. en på 2,4 miljoner år. Eftersom det varit så pass få jordbävningar i området sedan seismiska instrument installerats är beräkningarna nedskalade från alla jordbävningar som inträffats inom en 500 km radie till en 10 km cirkel kring Forsmark. Det innebär att osäkerheten i resultatet är stort (Bödvarsson m.fl. 2006). Ett annat sätt att beräkna sannolikheten för en magnitud ≥ 5 jordbävning är att kombinera de bergspänningar som byggs upp genom plattetektoniska och glaciala processer inom ett avstånd av 1–2 km från längre, existerande förkastningar. I denna modell, som använts för att beräkna jordbävningsrisken i Forsmark, kommer två jordbävningar med en magnitud över fem att ske under en tidsperiod på 1 000 000 år. Förskjutningen som sker utmed en förkastning i anslutning till en jordbävning är proportionell mot förkastningsplanetets yta och skjuvrörelsen i berget avtar med avståndet från de förkastningar där jordbävningen skett. För en jordbävning med en magnitud på 7,5 är säkerhetsavståndet mellan förkastningarna och förvaret 600 m (Fälth m.fl. 2010). För att inte överstiga kopparkapslarnas skjuvtolerans på 5 cm vid en M_L 7,5-jordbävning måste alltså förvaret byggas på ett större avstånd än 600 m från större sprickzoner och förkastningar där den rörelsen kan ske. Små jordbävningsrörelser

⁴ <http://www.snsn.se/> (hämtad 2015-12-01).

kan dock ske utmed i mindre, existerande sprickor, och för att inte riskera kopparkapslarnas integritet måste deponeringshål som har genomgående sprickor förkastas.

I ett 1 00 000-års perspektiv är det troligt att en ny istid inträffar och därmed är det inte orimligt att en kraftigare jordbävning kommer att ske i Forsmarksområdet. Trots att det inte finns några spår av större jordbävningar efter den senaste istiden i detta område är försiktighetsprincipen sund eftersom de kända post-glaciala förkastningarna förekommer utmed äldre sprickzoner. I detta avseende är säkerhetsavståndet på 600 m mellan det planerade kärnavfallsförvaret och de större sprickzonerna i Forsmark befogat.

Referenser

- Arvidsson, R. 1996. Fennoscandian earthquakes: Whole crustal rupturing related to postglacial rebound. *Science* 274: 744–746.
- Bungum, H., Pettenati, F., Schweitzer, J., Sirovich, L. och Faleide, J.-I. 2009. The 23 October 1904 Ms 5.4 Oslofjord earthquake: Reanalysis. *Bulletin of the Seismological Society of America* 5: 2836–2854.
- Bödvarsson, R., Lund, B., Roberts, R. och Slunga, R. 2006. *Earthquake activity in Sweden. Study in connection with a proposed nuclear repository in Forsmark or Oskarshamn*. SKB R-06-67. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Fälth, B., Hökmark, H. och Munier, R. 2010. *Effects of large earthquakes on a KBS-3 repository. Evaluation of modelling results and their implications for layout and design*. SKB TR-08-11. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Juhlin, C. och Lund, B. 2011. Reflection seismic studies over the end-glacial Burträsk fault. *Solid Earth* 2: 9–16.
- Kearey, P. och Vine, F. 1996. *Global tectonics*. 2:a utgåvan. Blackwell Science.
- Korja, A. och Kosonen, E. (red.). 2014. *Seismotectonic framework and seismic source area models in Fennoscandia, northern Europe*. Institute of Seismology. Report S-63. Helsinki University.
- Lagerbäck, R. och Sundh, M. 2008. *Early Holocene faulting and paleoseismicity in northern Sweden*. SGU Research paper C 836.

- Lindblom, E., Lund, B., Tryggvason, A., Uski, M., Bödvarsson, R., Juhlin, C. och Roberts, R. 2015. Microearthquakes illuminate the deep structure of the endglacial Pärvie fault, northern Sweden. *Geophysical Journal International* 201: 1704–1716.
- Lund, B., Buhcheva, D., Tryggvason, A., Berglund, K., Juhlin, C. och Munier, R. 2014. The Burträsk endglacial fault: Sweden's most seismically active fault system. *Geophysical Research abstracts* 17. EGU2015-12358. EGU General Assembly 2015.
- Mörner, N.-A. 2003. *Paleoseismicity of Sweden, a novel paradigm. Paleogeophysics and Geodynamics*. Stockholm: Stockholms universitet.
- SKB. 2011. *Long term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark*. SKB TR-11-01. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Stephansson, O., Ljungren, C. och Jing, L. 1991. Stress measurements and tectonic implications for Fennoscandia. *Tectonophysics* 189: 317–322.
- Söderbäck, B. (red.). 2008. *Geological evolution, palaeoclimate and historical development of the Forsmark and Laxemar-Simpevarp areas*. SKB R-08-19. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Tarbuck, E., Lutgens, F. och Tasa, D. 2011. *Earth, an introduction to physical geology*. Prentice Hall.

6 Risker och verkan av låga doser på människa och miljö

6.1 Introduktion

Syftet med detta kapitel är att belysa de risker och hälsoeffekter som människor och miljön utsätts för vid exponering för låga doser av joniserande strålning, samt att ge en beskrivning av de kunskaper som ligger till grund för riskuppskattningar och de osäkerheter som finns vid exponering för låga doser och doshastigheter.

Med begreppet ”risk” i det här sammanhanget avses sannolikhet för skadliga händelser viktat med ett mått på konsekvensen eller skadans svårighetsgrad. Den skadliga händelsen är här induktion av cancer, och svårighetsgraden bestäms av vilka möjligheter man har att överleva, med eller utan behandling. Dessa risker är välkända och delvis kvantifierade, men betydande osäkerheter råder om exempelvis lågdosstrålning. Riskerna är dock fortfarande bättre kända än för många kemiska ämnen, som också kan ha cancerframkallande effekter.

Tack vare att det finns ett kvantitativt mått på risken har myndigheterna i direktivet till Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) kunnat ange ett gränsvärde för högsta acceptabla risk att användas som ett riktmärke vid utvärderingen av den metod som tas fram för konstruktion av ett slutförvar för använt kärnbränsle.

Frågan om hur risker uppfattas, hanteras och kommuniceras i samhället i en mer generell bemärkelse har tidigare rapporterats av Kärnavfallsrådet i SOU 2007:38 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2007 – nu levandes ansvar, framtida generationers frihet* och i Rapport 2007:4 *Riskperspektiv på slutförvaring av kärnavfall – individ, samhälle och kommunikation* som är en fördjupningsrapport av SOU 2007:38.

I detta kapitel avser vi att på ett grundläggande men kortfattat sätt beskriva hur strålningsriskerna uppkommer och hur stora dessa är för människan vid en given stråldos. Vår naturliga strålmiljö beskrivs samt vad vi kan lära oss från de olika utsläpp som har inträffat av radioaktiva ämnen till miljön, avsiktliga eller oavsiktliga, med fokus på kärnkraftshaveriet i Tjernobyli och utsläppen i södra Uralbergen.

För att ge perspektiv på myndigheternas gränsvärden för slutförvaret för använt kärnbränsle jämförs de med de doser som erhålls från naturliga strålkällor i vår miljö. I texten diskuteras också olika scenarier vad gäller effekter på människa och miljö om gränsvärdena för slutförvaret skulle överskridas upp till tusen gånger.

Däremot diskuteras inte osäkerheter i vare sig de tekniska barriärerna, eller i de beräkningar som ligger bakom bedömningen av den naturliga barriären.

6.2 Radiobiologiska och radiofysikaliska grunder

6.2.1 Strålningstyper

Naturlig strålning och strålning från medicinska och industriella applikationer

I vår normala miljö omges vi av strålning från olika källor och av olika kvalitet:

- Dels finns den **naturliga** strålningen som också kallas bakgrundsstrålning med ursprung från berggrund och kosmos för vilken människan har varit exponerad under hela sin evolution.
- Dels har under det senaste århundradet tillkommit ett brett spektrum av olika former av strålning som ett resultat av den **medicinska** och **industriella** utvecklingen.

Den naturliga strålningen omfattar såväl elektromagnetisk strålning som partikelstrålning. Elektromagnetisk strålning omfattar allt ifrån radiovågor, mikrovågor, synligt och ultraviolett ljus till gammastrålning. De vanligaste naturliga formerna av partikelstrålning består av alfa- och beta-partiklar som bildas vid radioaktivt sönderfall.

De biologiska effekterna bestäms av den energi som strålningen kan avge till det bestrålade objektet. För de lägre energierna av elektromagnetisk strålning leder den absorberade energin i huvudsak till temperaturhöjningar medan de högre energierna (UV och gamma) orsakar kemiska förändringar i det bestrålade materialet. De synliga våglängderna har en unik biologisk verkan genom ögats förmåga att omvandla detta ljus till synintryck.

Joniserande strålning, dos och doshastighet

Joniserande strålning

Alfa (α) partiklar: Heliumkärnor, positiv laddning, har en räckvidd i vävnad på mindre än 0,1 mm. Stoppas av ett papper.

Beta (β^-) partiklar: Elektroner med negativ laddning. Det finns även positivt laddade betapartiklar, dessa kallas positroner. Betapartiklar har en räckvidd i vatten på något tiotal mm. Stoppas av plexiglas.

Gammastrålning (γ): Elektromagnetisk strålning (fotoner) som härrör från atomkärnan. Har lång räckvidd, lägre energier, stoppas av några mm bly, medan höga energier kan behövas någon decimeter av bly för att stoppas effektivt.

Röntgenstrålning: Elektromagnetisk strålning som kommer från atomens elektronskal, eller produceras i röntgenrör. Har vanligen lägre energi än gammastrålning. Räckvidden i vävnad är energiberoende, typiskt några millimeter upp till ett par decimeter.

I detta avsnitt kommer fokus att ligga på den elektromagnetiska strålningen, även kallad fotonstrålning, som har tillräckligt hög energi för att jonisera atomen. Beroende på sitt ursprung kallas denna typ av strålning gammastrålning eller röntgenstrålning. Även partikelstrålning, kommer att diskuteras och då särskilt betapartiklar (elektroner) och alfapartiklar, de senare sänds företrädesvis ut från tunga atomkärnor såsom uran eller plutonium. En gemensam benämning för alla dessa strålningstyper är **joniserande strålning** vilket är den strålning som åstadkommer kemiska förändringar i det

bestrålade materialet. Denna påverkan kommer att närmare belysas i avsnitt 6.2.2.

Vid exponering för strålning i miljön utgörs vanligtvis strålkällan av en radionuklid, dvs. en radioaktiv isotop av ett grundämne. I kärnreaktorn bildas radioaktiva ämnen, antingen genom att tunga ämnen klyvs varvid två andra ämnen, fissionsprodukter, uppkommer, eller genom att neutroner tillförs kärnan (aktiveringsprodukter). I det senare fallet talas ofta också om aktinider, en kemisk benämning på en grupp av tyngre grundämnena, som bildas när neutroner tillförs en urankärna. Att en atomkärna är radioaktiv betyder att den inte är stabil, den har en viss sannolikhet per tidsenhet att sönderfalla eller omvandlas till en annan radionuklid. Ju större sannolikhet att sönderfalla, desto högre aktivitet, men också kortare halveringstid. Aktiviteten av en radionuklid mäts i becquerel (Bq), 1 Bq är lika med ett sönderfall per sekund.

Dos och doshastighet (även kallad dosrat) är två grundläggande begrepp vad gäller effekter av joniserande strålning. Dosen beskriver hur mycket energi som absorberats av det bestrålade objektet medan doshastigheten anger sambandet mellan dos och tid. Enheten för dos är gray (Gy) och motsvarar en absorberad energi av 1 joule per kilogram (J/kg), vilket är en mycket hög dos i ett perspektiv av naturlig bakgrundsstrålning där den totala dosen per år mäts i några tusendels gray (mGy). Doshastigheter som gäller för den naturliga bakgrundsstrålningen ligger vanligen i området mGy/år, dvs. några tiondelar av miljondels gray per timme ($\mu\text{Gy}/\text{timme}$). Medicinska applikationer kan medföra doser i tiotals Gy till tumörer som strålbehandlas med doshastigheter på Gy/min.

Dosbegrepp

Absorberad dos: Definieras som den, av joniserande strålning, deponerade energin per massenhet. Mäts i gray (Gy), 1 Gy = 1 J/kg.

Ekvivalent dos: Den absorberade dosen viktad med faktor som tar hänsyn till biologisk effekt för den specifika strålningstypen. Mäts i sievert, Sv.

Effektiv dos: Den ekvivalenta dosen viktad med en faktor som tar hänsyn till strålkänsligheten hos kroppens olika organ. Mäts i sievert, Sv. Gränsvärden sätts vanligtvis i denna storhet.

Dos kan också anges som **ekvivalent dos** med enheten sievert (Sv) och inbegriper då en ”effektfaktor” som varierar mellan olika strålningstyper beroende på deras olika biologiska verkan. Effekten som avses är risken att strålningen ska inducera cancer och anges med hjälp av en strålningsviktningfaktor, som benämns w_R . Den ekvivalenta dosen (H) i sievert definieras som $H = w_R \times D$ där D är absorberad dos mätt i gray.

Genom att beräkna dosen i Sv kan dosen från olika typer av strålkällor summeras och användas för riskbedömning vad gäller s.k. stokastiska effekter, exempelvis risken att låga doser av strålning ger upphov till cancer. Begreppet stokastiska effekter förklaras närmare i texten nedan.

Tabell 6.1 Strålningsviktningfaktorn för olika strålningstyper (ICRP 1991)

Typ av strålning	w_R
Gamma och röntgenstrålning	1
β -strålning (elektroner)	1
Neutroner	energiberoende 5 – 20
Protoner	5*
α -strålning	20

*I ICRP:s senaste rekommendationer, har w_R för protoner ändrats till 2 (ICRP, 2007).

Enheter sievert används också då man avser **effektiv dos** och då ingår även en faktor som tar hänsyn till dosen till individuella organ, då sannolikheten för att en cancer uppkommer varierar mellan olika organ. Om exponering avser homogen helkroppsbestrålning så är den ekvivalenta dosen och den effektiva dosen identiska. I strålskyddssammanhang då man fastställer gränsvärden för exponering, och vanligtvis även när man anger doser från olika typer av strålkällor, så är det den effektiva dosen som avses.

6.2.2 Verkan av strålning på celler

Joniserande strålning verkar på celler genom att den absorberade energin kan orsaka kemiska förändringar i olika cellulära beståndsdelar. Dessa kemiska förändringar är slumpmässigt fördelade i

cellerna och en del av dessa kan uppkomma i cellkärnans DNA och leda till bestående förändringar i cellens arvs massa. Dessa kan påverka cellens funktion samt även leda till att en cell omvandlas till en cancercell. Vid höga doser (~ 3 Gy) kommer vissa typer av celler (i tunntarm och benmärg) att dö medan celler i andra organ (t.ex. hjärna och muskler) tolererar flera gånger högre doser innan celldöd inträffar.

Celldöd som leder till att ett organ slutar fungera kallas en **deterministisk** effekt och uppkommer först då en tröskeldos över-skridits. Vid lägre doser som inte orsakar celldöd finns en risk att bestående skador (mutationer) uppkommer i cellernas DNA. En del av dessa kan på sikt leda till att en cell omvandlas till en cancercell. Det går inte att förutse vilken eller vilka celler i det bestrålade området som kommer att omvandlas till en cancercell därför benämns denna effekt stokastisk (slumpmässig).

I dosområdet runt 100 mGy och däröver kan strålskador i celler påvisas som kromosomala skador eller som mutationer. Vid de låga doser och doshastigheter som karakteriserar bakgrundsstrålning har det saknats markörer för cellulär respons men med molekylärbiologiska metoder som exempelvis analys av gen- eller proteinuttryck har det visats att celler reagerar på så låga doser som 1 mGy och vid doshastigheter på mGy/timme. Då de traditionella markörerna för genotoxicitet inte är så känsliga att de går att observera vid doser i mGy-området har molekylärbiologiska metoder tillfört ny kunskap för att beskriva vilka cellulära processer som påverkas vid låga doser och doshastigheter.

Celler i kultur samt studier på organismnivå (möss, fiskar etc.) har även visat att celler och organ kan påverkas negativt av strålning även om de inte har exponerats men befinner sig i närheten av celler och organ som erhållit en stråldos. Denna effekt benämns på engelska "bystander effect" eller "abscopal". Vanligen har effekten observerats i form av kromosomskador eller celldöd i den cellpopulation som inte exponerats. "Abscopal effect" har ibland rapporterats i samband med strålterapi av tumörer, dvs. vid mycket höga doser (40–60 Gy), och hos vissa patienter har det dokumenterats att tumörer utanför bestrålningsområdet minskar eller försvinner.

DNA-skador

Skador på DNA är en vanlig effekt av joniserande strålning. Sådana skador består vanligen av basskador eller att den ena eller båda strängarna i DNA-molekylen går av. Eftersom skador på DNA uppkommer i hög frekvens i celler p.g.a. normala metaboliska processer har cellen utvecklat olika mekanismer för att reparera skadat DNA.

Basskador och enkelsträngsbrott är de i särklass mest frekventa. Båda dessa former av skador repareras vanligen utan att information går förlorad då den oskadade av de två DNA-strängarna fungerar som en mall för den information som ska bibehållas i den skadade DNA-strängen.

Ett dubbelsträngsbrott är svårare att reparera. Om reparationen misslyckas uppkommer en bestående skada. Om cellen överlever kan informationen vara ändrad och en mutation har uppkommit. Vissa mutationer kan utgöra ett led i cellens omvandling till en tumörcell.

Adaptiv respons är en form av respons som är intressant vad gäller effekter vid låga doser. Denna respons har framför allt studerats i cellulära modellsystem men har även i vissa fall observerats hos försöksdjur. Adaptiv respons har påvisats då celler först bestrålas med en låg dos (10–100 mGy) som efter några timmar följs av en hög dos som ger observerbara effekter i form av kromosomskador eller celldöd. Effekten blir då mindre hos de celler som fått en låg dos före den höga dosen. De mekanismer som diskuteras involverar i första hand att den första lågdosexponeringen initierar cellens DNA-reparationssystem och då cellerna exponeras en andra gång så är reparationsfunktionerna optimerade. Denna typ av respons har diskuterats i termer av att låga stråldoser skulle kunna optimera cellernas reparationsförmåga och därmed även ha en positiv effekt vad gäller skydd mot andra genotoxiska ämnen i vår miljö. Det saknas dock vetenskapligt stöd för att strålningsinducerad adaptiv respons skulle påverka cancerrisk för människan.

6.2.3 Effekter på människa och miljö

Historisk bakgrund

Mindre än ett årtionde efter Röntgens upptäckt 1895 av ”röntgenstrålar” hade de första medicinska applikationerna som röntgen-diagnostik och tumörterapi tagits i bruk samtidigt som skadeverkningsrapporterades i form av vävnadsskador. Ökad förekomst av cancer bland radiologer beskrevs 1907, och 1917 visades att strålning kan ge en förhöjd sterilitet hos radiologer. Den omfattande användningen av röntgenrör för olika applikationer skapade behov att kunna jämföra och kalibrera utrustningar och i avsaknad av fysikaliska mätinstrument så utvecklades en biologisk dosimetri benämnd huderytemdos vilket innebar att man bestrålade exempelvis underarmen och mätte vilken tid som behövdes i strålfältet för att en hudrodnad skulle utvecklas. För en specifik utrustning kunde då med angivande av avstånd till röntgenröret och tid i strålfältet en huderytemdos beräknas. En huderytemdos motsvarar ca 2 Gy i moderna enheter.

Det omfattande användandet av röntgenutrustningar men även radioaktiva ämnen, som radium inom medicin och forskning ställde krav på säkerhetsregler för att undvika skador genom exponering av personal och patienter. Den första internationella strålskyddskonferensen arrangerades av Rolf Sievert 1928 i Stockholm och lade grunden till de regelverk som sedan utvecklats genom internationella organisationer som International Commission on Radiological Protection (ICRP), United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) och International Radiation Protection Association (IRPA). Rolf Sievert var även pionjär när det gällde utveckling av mätutrustningar för bestämning av doser från olika slag av strålkällor, vilket lade en grund till ett mätsystem för exponering.

Forskningen rörande mekanismerna bakom uppkomst av strål-skador startade också i början av förra seklet och 1927 kunde genetikern Herman J. Müller vid Columbia University i USA visa att strålning inducerade mutationer i bananflugor, för vilket han fick Nobelpriset 1946. Bevisen för att strålning kan inducera cancer hos människa ökade i och med att grupper av människor exponerades för strålning från olika källor. Samband mellan skelettcancer och radium kunde påvisas hos kvinnor som målade urtavlor med

självljysande färg där radium ingick, och ökade cancerincidenser hos många yrkesgrupper som utsattes för strålning dokumenterades under 1900-talet.

Bakgrund till nuvarande riskuppskattning

”Life span study” (LSS). Överlevande från Hiroshima och Nagasaki.

Forskningsprogram pågår för att följa upp hälsoeffekter hos överlevande efter bomberna i Hiroshima och Nagasaki. Studien omfattar 94 000 exponerade individer, samt en kontrollgrupp på 27 000, som inte fått någon dos. De 17 000 individer som uppskattas ha fått en dos överstigande 100 mSv utgör den viktigaste gruppen för uppskattning av risk, eftersom man för dessa kan observera signifikant ökade risker.

Dosen till de drabbade i de båda japanska städerna kom från extern bestrålning, fotoner och neutroner, under mycket kort tid, bråkdelar av en sekund. Det är känt att hög doshastighet och hög dos har en större biologisk effekt än låga doshastigheter, eftersom cellen då inte ”hinner med” att reparera DNA-skadorna i den utsträckning som behövs. Därför har ICRP introducerat en faktor, DDREF (Dose, dose rate extrapolation factor) som används för att korrigera för detta. F.n. används DDREF=2, vilket betyder att den biologiska effekten antas vara dubbelt så stor per dosenheter vid höga doser och doshastigheter, som vid låga.

Störst tyngd vad gäller samband mellan dos och risk för olika cancerformer har kommit från ”livstidsuppföljningen” av de överlevande från atombombssprängningarna av Hiroshima och Nagasaki 1945 som omfattar ca 120 000 människor. Studierna pågår fortfarande då en del av de exponerade människorna fortfarande lever. Stora epidemiologiska studier har också genomförts på arbetare inom kärnkraftsindustrin samt på människor som exponeras i samband med kärnkraftsolyckor som Tjernobyli. Dessa typer av studier har lett fram till riskuppskattningar för strålning vad gäller olika former av cancer, men också för hjärt- och kärll-

sjukdomar, kognitiv förmåga och grumling av ögats lins. Uppföljningen av de överlevande från Hiroshima och Nagasaki har även gett kunskap vad gäller genetiska skador, även om några statistiskt säkerställda genetiska effekter av strålning inte har konstaterats. Riskerna för människan kommer närmare att diskuteras i de följande avsnitten.

Under det senaste decenniet har även strålskydd av miljön kommit i fokus och det tidigare antagna konceptet att ”om människan är adekvat skyddad så är även miljön det” har omprövats. ICRP och ett antal andra nationella strålskyddsorganisationer anser numera att modeller för att beräkna dos till olika organismer bör användas för att ge säkrare information om hur olika arter kan påverkas av olika exponeringsscenarier. Strålskydd av miljön syftar till att biotoper ska skyddas så att biologisk mångfald kan bevaras, se vidare utförligare beskrivning i avsnitt 6.4.4.

6.2.4 Medicinska och industriella applikationer

De medicinska applikationerna av joniserande strålning för diagnostik och terapi är omfattande och bidrar med ca 2 mSv/år till den genomsnittliga individdosen. Den vanligaste strålkvalitén utgörs av röntgenstrålning och, även om dosen är låg, är doshastigheterna mycket höga. Olika diagnostiska metoder som röntgen, datortomografi och positronemissionstomografi (PET) har utvecklats till ovärderliga hjälpmedel vad gäller att diagnostisera olika sjukdomar eller trauman (benbrott/skador). Inom cancervården används strålterapi ensam eller i kombination med kirurgi/immunoterapi eller cytostatika i närmare 60 procent av alla behandlingar. Inom vårddyrkena finns det vissa personalkategorier som exponeras för joniserande strålning med dosgränser som anges av gällande strålskyddsföreskrifter.

Det finns även industriella tillämpningar som kan ge små dosbidrag till vissa yrkeskategorier som t.ex. tekniker i kärnkraftverk med vissa arbetsuppgifter. Andra exempel på industriella och tekniska applikationer är steriliseringsanläggningar för medicinsk utrustning, kvalitetskontroll av svetsade rör, brandvarnare och analysinstrument av rökgaser i förbränningsanläggningar.

6.3 Naturlig bakgrundsstrålning

Människan har under alla tider varit utsatt för exponering av den naturliga bakgrundsstrålningen. Denna härrör antingen från kosmos, eller från naturligt radioaktiva ämnen, som finns i våra kroppar, våra hus och i marken. Naturligt radioaktiva ämnen, kan ha sitt ursprung antingen i de processer som ledde till att universum bildades, eller ha tillkommit genom att kosmisk strålning växelverkat med materia, framför allt, atmosfären. Exempel på det förra är ^{238}U , eller ^{40}K , medan ^{14}C är den vanligaste radioaktiva isotopen som produceras av den kosmiska strålningen.

Den naturliga strålning vi utsätts för härrör från fyra källor (Andersson m.fl. 2007):

- Kosmisk strålning, årlig dos 0,3 mSv (vid havsytans nivå).
- Extern strålning från jordskorpan, en årlig dos på 0,04 mSv, medelvärde i Sverige.
- Strålning från naturligt radioaktiva ämnen i våra kroppar, i huvudsak, kalium-40, bidrar årligen med 0,3 mSv.
- Naturligt radioaktiva ämnen i byggnadsmaterialet till våra hus ger en dos på 0,5 mSv/år.

Till detta kommer ett bidrag från radon-222, en radioaktiv ädelgas, med sönderfallsprodukter, s.k. radondöttrar. Radon produceras i marken och i byggnadsmaterial, som ett resultat av sönderfallet av radium-226. Storleken på detta bidrag varierar kraftigt över landet, och mellan olika typer av bostäder, men medelvärdet torde ligga på 3–4 mSv per år.

6.3.1 Variationer i den naturliga bakgrundsnivån

Den kosmiska strålningen, som i huvudsak består av partikelstrålning, ger ca 0,3 mSv per år vid havsytans nivå, men drygt 0,4 mSv i fjällkedjan. Atmosfären och jordens magnetfält utgör ett viktigt skydd mot den kosmiska strålningen, skulle vi utsättas för samma strålnivåer som finns ute i rymden skulle vi snart erhålla doser som är akut dödliga.

Bidragen från extern strålning från jordskorpan, och från byggnadsmaterial är starkt beroende av sammansättningen av dessa, då olika mineral och material innehåller olika halter av uran och torium. Noteras kan bl.a. skillnaden i dos beroende på om man bor i flerbostadshus eller i småhus. I det förra fallet beräknas den genomsnittliga dosen i Sverige till 0,73 mSv/år, medan den i småhus är 0,39 mSv per år. Således en skillnad på 0,34 mSv/år vilket motsvarar mer än 20 ggr det riktvärde som gäller för ett slutförvar.

I Sverige varierar den naturliga strålningen från berggrunden med ungefär en faktor 2. Stockholms län ligger högst med ett medelvärde på 0,058 mSv/år och Västerbotten lägst med 0,031. Dessa värden är beräknade för personer med 10 procent vistelsetid utomhus (Andersson m.fl. 2007). Globalt sett finner man också områden med hög naturlig bakgrundsstrålning bl.a. i Indien, Kina och Iran. Där kan relativt stora populationer utsättas för en naturlig bakgrund på till 5–10 mSv/år, med enstaka mindre ”hotspots”, med betydligt högre dos, 50–100 mSv eller mer, framför allt kopplade till radonexponeringar.

6.3.2 Vilka kunskaper om riskerna med ett slutförvar för använt kärnbränsle kan den naturliga bakgrundsstrålningen bidra med?

Den naturliga bakgrundsstrålningen kan ge oss bättre kunskaper på två specifika områden:

- Transport av radioaktiva ämnen från ett slutförvar, genom den ”naturliga barriären” upp till människan.
- Risker med att kroniskt utsättas för joniserande strålning.

För att bättre förstå hur radioaktivt material, som av någon anledning trängt igenom de tekniska barriärerna i ett slutförvar kommer att uppföra sig, ger studier av naturligt förekommande radionuklider ett värdefullt bidrag. Det vanligaste radioaktiva ämnet i avfallet, uran, förekommer också allmänt i naturen i spårmängder. Eftersom det dessutom i båda fallen i huvudsak är fråga om samma isotop av uran, ^{238}U kan man genom att studera hur denna och dess dotterprodukter, rör sig i mark och biota, få kunskaper, som sedan kan

ligga till grund för en uppskattning av vilken betydelse denna komponent i kapselinnehållet kan få om den når upp till biosfären.

För de radionuklider som beräknas ge de största bidragen till den absorberade dosen, om de läcker ut ifrån det inkapslade avfallet, finns inte lika mycket information att hämta från studier av naturligt radioaktiva ämnen. Anledningen till detta är att dessa till största delen utgörs av långlivade fissionsprodukter, som inte förekommer naturligt i nämnvärd utsträckning. Uran och andra aktinider, som producerats i bränslecykeln, är betydligt mer svårörliga i geosfären och biosfären, vilket, då alla faktorer tas hänsyn till, innebär att dessa radionuklidens bidrag till dosen är lågt i förhållande till det från de mer lättörliga fissionsprodukterna.

I världen finns ett antal områden med mycket hög markstrålning (avsnitt 6.3.1), beroende på särskilt rik förekomst av uran eller torium i berggrunden. Befolkningen i dessa områden har studerats, vad gäller exempelvis cancerepidemiologi och förekomst av avvikande kromosomer (Hendry m.fl. 2009). Dessa studier har hittills inte kunnat finna några statistiskt signifikanta belägg för skadliga effekter av den högre bakgrundsstrålningen. Orsakerna är delvis att tillförlitliga basdata saknas att jämföra med, som nationella cancerregister och väl dokumenterade dosberäkningar. Detta är särskilt kritiskt eftersom man letar efter ganska små effekter, även om de berör relativt stora populationsgrupper.

6.4 Stråldos till människa och miljö från slutförvaret för använt kärnbränsle

6.4.1 Myndigheternas krav på slutförvaret

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) har formulerat sitt krav på skydd av människors hälsa i SSMFS 2008:37 där § 5 lyder:

Ett slutförvar för använt kärnbränsle eller kärnavfall ska utformas så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst 10^{-6} (dvs. en miljondel) för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken.

Man nämner vidare i samma paragraf att risken ska beräknas utifrån stråldos enligt ICRP Publikation 60, som utkom 1991. Med "skadeverkningar" avses här cancer, såväl icke-dödlig som dödlig,

samt ärftliga skador, också detta i enlighet med ICRP 60 (ICRP, 1991). Strålsäkerhetsmyndigheten hade även att ta hänsyn till EU-lagstiftning då man formulerade kraven på förvaret.

ICRP 60 innefattar de grundläggande rekommendationerna från ICRP. Här presenteras uppskattade risker för dödlig cancer, gällande som medelvärde för hela befolkningen på 5,0 procent per Sv, ICRP inkluderar också cancerfall som inte får dödlig utgång. Man väljer att vikta dessa med avseende på konsekvens. För detta ändamål använder man begreppet ”detriment” som således utgör ett mått på risken betraktad som en *konsekvensviktad sannolikhet*. Med denna terminologi blir detrimentet för dödlig cancer 5,0 procent, icke dödlig cancer 1,0 procent och för svåra ärftliga skador 1,3 procent per Sv. Detta summeras upp till 7,3 procent, vilket innebär att det riskkrav som är satt av myndigheten motsvarar en maximal dos på 0,014 mSv per år.

ICRP kom år 2007 ut med nya uppdaterade och reviderade grundläggande rekommendationer i ICRP Publikation 103 (ICRP, 2007). På samma sätt som i ICRP 60, har man uppskattat detrimentet, som i denna rapport är 5,5 procent för cancer (inkl. icke-dödlig) och för ärftliga skador 0,2 procent per Sv, totalt alltså 5,7 procent. En något lägre uppskattad risk, framför allt beroende på nya kunskaper om ärftliga skador. Den maximala tillåtna dosen, beräknad med denna uppdaterade risk, uppgår till 0,018 mSv per år jämfört med 0,014 mSv per år. En skillnad som, med tanke på osäkerheterna måste anses som obetydlig.

ICRP har även publicerat en rapport som direkt rör geologiskt slutförvar *Radiological protection in geological disposal of long-lived solid radioactive waste* (ICRP, 2013). I denna anger man en årlig rekommenderad maximal dos till en kritisk befolkningsgrupp på 0,3 mSv (§54).

Den aktuella generella dosgränsen för allmänheten, som SSM angett, 1 mSv/år (ICRP, 1991; 2007), avser den sammanlagda dosen från alla strålkällor som allmänheten kan komma att utsättas för. Dosbidragen från de enskilda källorna måste alltså vara mindre.

Tabell 6.2 Exempel på doser för några olika förekommande exponeringar

	Årlig dos (mSv)
Maximalt tillåten dos från slutförvaret för använt kärnbränsle	0,014
Maximal årlig dosgräns för allmänheten, generell	1
Maximalt tillåten för personal i radiologisk arbete	20
Maximalt tillåten radonhalt i nya byggnader, 200 Bq/m ³	ca 7
Naturlig genomsnittlig årlig bakgrund i Sverige, exkl. radon	1,1
Genomsnittlig årlig dos till befolkningen från medicinsk diagnostik	0,9
Uppskattad genomsnittlig dos för personal som arbetar på flygplan	3
Dos från naturligt kol-14	0,012

I detta sammanhang är det viktigt att notera att de risker som är uppskattade utifrån de överlevande i Hiroshima och Nagasaki bygger på extern exponering under en mycket kort tid, bråkdelar av en sekund. ICRP har dock räknat om risken, så att den ska gälla för utdragna exponeringar (se faktaruta avsnitt 6.2.3). Den exponering som människan kan komma att utsättas för från slutförvaret, är utdragen i tiden och i huvudsak intern, dvs. via intag av olika radionuklider.

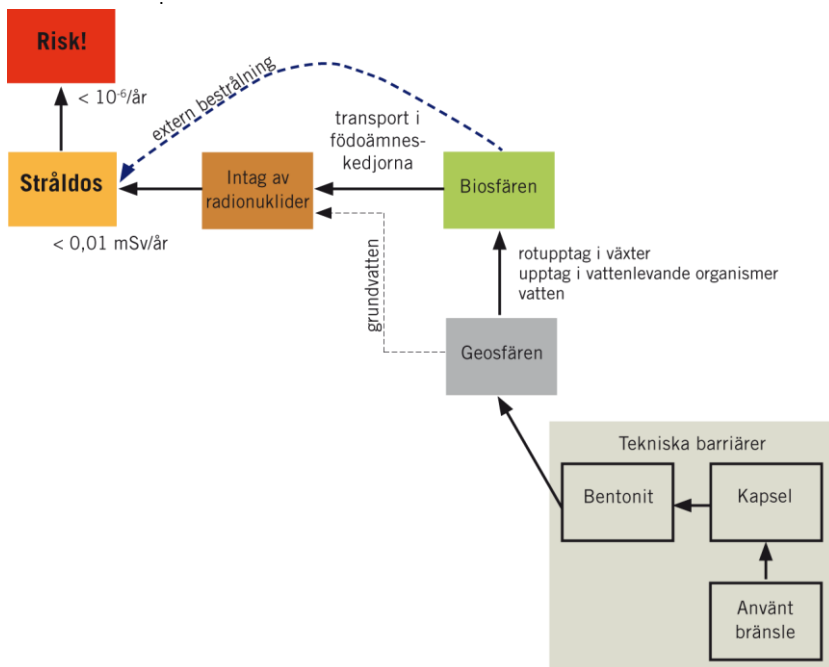
6.4.2 Vägar till exponering

Som avgörande steg i säkerhetsanalysen för slutförvaret för använt kärnbränsle ska en uppskattning av stråldosen till människa göras och beskrivas. Dessutom ska det redovisas hur miljön kan komma att påverkas av joniserande strålning.

Ett läckage från förvaret, som resulterat i att människor blir exponerade för joniserande strålning, innebär att radioaktiva ämnen trängt igenom de tekniska barriärerna och transporterats upp till ytan med grundvattnet. Först kommer dessa radionuklider att återfinnas i vatten, för att den vägen så småningom överförs till biosfären. Personer som lever och bor i det utsatta området kan komma att exponeras för dessa, och då i huvudsak via intern bestrålning. I ett första skede från dricksvattnet och, senare från den lokalt producerade maten, som kan bestå av jordbruksprodukter, vilt eller fisk. Ett litet, relativt sätt obetydligt, dosbidrag kan också fås genom extern bestrålning från radionuklider uppe på

markytan. Det finns också en teoretisk möjlighet att en liten del av exponeringen kan komma via inhalation av radionuklider, eller kemiska föreningar i gasform, främst ¹⁴C som koldioxid samt radon.

Figur 6.1 Illustration av flödet från deponerat använt bränsle till risk för cancer hos människa



Boende i närområdet utsätts för risk, huvudsakligen genom oralt intag av radionuklider som trängt igenom barriärerna och kommit upp till ytan. De små bidrag som kan komma från inhalation av radionuklider i luften har försumrats.

För överföringen av radionuklider från biota till människa kan man identifiera ett antal födoämneskedjor. Exempel på en vanlig sådan är gräs – ko – mjölk. Detta är en relativt effektiv väg att överföra vissa ämnen till människa, särskilt för nuklider av jod. Cesium överförs dock effektivare via kedjan: gräs – ko – kött, eller ännu effektivare lav – ren – kött. En effektiv födoämneskedja karaktäriseras av ett effektivt rotupptag, och att ämnet tas upp i betydande utsträckning i mag-tarmkanalen hos både djur som kan

utgöra föda, och människa. Vidare bör ämnet som tagits upp i djur sedan koncentreras till de delar man äter. Många tunga aktinider uppvisar, förutom ett lågt rotupptag, ett upptag från mag-tarmkanalen som är mycket litet, dessutom har de radionuklider av t.ex. plutonium som kommit in i kroppen hos ett djur en förmåga att koncentreras till skelettet och blir då mindre tillgängligt genom födan.

Vid intern bestrålning bestäms den absorberade dosen av den aktuella radionuklidens upptag och retention i kroppen. ICRP har tagit fram biokinetiska modeller för praktiskt taget alla radioaktiva ämnen. Här ingår också en uppgift om upptaget (ICRP 2012; 2015) som ligger till grund för beräkningen av de dosfaktorer, uttryckta i Sv per intagen aktivitetseenhet. Dessa data är i första hand avsedda att användas i lägen där personer exponeras yrkesmässigt för olika radionuklider. Vid oralt intag via föda eller dricksvatten har det stor betydelse hur stor andel av intagen aktivitet som tas upp till blodet från mag-tarmkanalen. Radionuklid-sammansättningen av den aktivitet som når ytan, och därmed blir tillgänglig för människan, påverkas av bl.a. hur lättlösligt ett ämne är, och i vilken grad det löser sig i vatten. Så även om en stor del av aktiviteten i slutförvaret härrör från tunga radioaktiva långlivade ämnen, så är det ändå fissionsprodukterna, som ger det större bidraget till dosen till människa.

6.4.3 Exponeringsscenarioer om de tekniska barriärerna inte håller

Transporten av radionuklider i geosfären och biosfären styrs av de olika nuklidernas kemiska egenskaper, såsom löslighet i vatten, benägenhet att tas upp i växter via rötter etc. För att analysera olika scenarios krävs därför kunskaper om de olika transportparametrarna, vilka är radionuklidspecifika. Baserat på transportmodeller har SKB räknat fram hur den årliga effektiva dosen kommer att bero av tiden efter förslutning av förvaret.

Så länge de tekniska barriärerna i alla avseenden håller, dvs. kopparkapslarna är intakta kommer dosen till människor som lever i området att vara noll, utöver den normala bakgrunden, beroende på att inga radionuklider läcker ut. Förvarssystemets primära funktion är ju att innesluta avfallet, och sekundärt att fördröja tran-

sporten till ytan. SKB har även räknat på dosen till en population på ytan nära slutförvaret i ett antal fall med olika typer av fel på kapslar eller buffert, orsakade av exempelvis korrosion eller jordbävningar. Dessa scenarier av olika sannolikhetsgrad från ”sannolika” till ”hypotetiska” presenteras i rapporten SR-Site (SKB, 2010).

Vilka radionuklider som vid ett läckage i första hand kommer att bidra till intern dos till individer på ytan, kommer att variera med tiden efter förslutning:

- Mycket tidiga läckage, inom ungefär 100 år efter förslutning. Cesium-137 och ^{90}Sr kan ha viss begränsad betydelse, vid sidan om ^{14}C och ^{129}I
- Läckage som inträffar vid storleksordningen 1000 år efter förslutning. Kol-14, men även de långlivade fissionsprodukterna ^{129}I och ^{79}Se , under vissa förutsättningar, även $^{108\text{m}}\text{Ag}$.
- Ett läckage efter 10 000 år medför stråldoser i huvudsak från ^{129}I och andra långlivade fissionsprodukter, ^{79}Se och ^{59}Ni . Men fortfarande ett betydande bidrag från ^{14}C .
- För ett läckage som inträffar först efter 100 000 år kommer ^{226}Ra att ge den större delen av dosen. Denna isotop finns inte initialt i avfallet, men är en sönderfallsprodukt från ^{238}U , och kommer att mycket sakta växa upp, eftersom ^{238}U är den huvudsakliga beståndsdel i det använda bränslet. Fortfarande så bidrar även ^{129}I , men också ^{237}Np till dosen.

Ovanstående kan anses som exempel – framför allt bidrar radionuklider som är lätttrörliga i berggrunden (dvs. löser sig i vatten och som endast liten utsträckning binder till partiklar) till dosen. Därför saknas t.ex. plutoniumisotoper och även vissa fissionsprodukter som ^{99}Tc i ovanstående lista.

I detta kapitel diskuteras inte sannolikheter för olika scenarier beroende på barriärernas tillförlitlighet, inte heller osäkerhet i de parametrar som påverkar effektiviteten hos den naturliga barriären. I alla de scenarier som SKB inte bedömer som osannolika är det totala resultatet av deras beräkningar att den absorberade dosen till de närboende med god marginal understiger det givna maximala värdet. Vi kan dock notera att enligt SKB:s beräkningar kommer i

några, vad de kallar ”hypotetiska” fall den resulterade dosen att klart överstiga det fastställda gränsvärdet.

I ett hypotetiskt scenario där 1 000 människor bor, och försörjer sig i nära anslutning till slutförvaret och därmed kan komma att exponeras under sin livstid av strålning från läckage av radionuklider kan följande negativa hälsoeffekter förväntas vad gäller canceruppkomst. För jämförelse ges även uppskattad risk över en period på 100 år, eftersom detta ungefär motsvarar en människas livslängd:

- *Inget läckage från slutförvaret.* Om det är samma ”naturliga” risk att dö i cancer som medelsvensken har i dag, kommer ca 200 att dö i cancer som inte är orsakad av strålning.
- *10 gånger.* Detta motsvarar 10 procent av bakgrundsstrålningen. En risk på 1 på 100 000 medför ytterligare 0,01 dödsfall i cancer varje år. Leder till ca 1 extra cancerfall på 100 år, att jämföra med de förväntade ca 200. För att upptäcka en ökning på 10 procent av bakgrundsstrålningen från radionukliderna krävs avancerad analysutrustning.
- *100 gånger.* Samma som bakgrundsstrålningen. Risk 1 på 10 000 vilket innebär 0,1 förväntade cancerfall per år. Cancerfallen ökar, men fortfarande inom de statistiska felmarginerna, totalt ca 10 fall. Om detta inträffar i närtid (inom några hundra år) är det möjligt att med avancerad utrustning på plats detektera ¹³⁷Cs, vid senare tidpunkt, krävs fortfarande avancerad analys för att upptäcka radionukliderna.
- *1 000 gånger.* En dos som är ca 10 gånger bakgrundsstrålningen medför en årlig risk av 1 på 100. Under en 100-årsperiod kan detta då innebära ytterligare upp till 100 dödsfall i cancer. Beroende på den tidpunkt efter förslutningen som läckaget inträffar kan det fortfarande vara svårt att detektera det, men om det sker inom några hundra år kommer man att kunna se detta med lite enklare mätningar på plats. Det är dock osäkert om en epidemiologisk studie på endast 1 000 individer kommer att innebära att man kan observera dessa konsekvenser, eftersom det är så få exponerade individer. Enligt SKB:s beräkningar kommer man upp i dessa doser/risker eller mer om alla kapslarna initialt har en stor defekt, samtidigt som bufferten saknas. SKB betraktar

detta som ett teoretiskt fall, som man inkluderat för att utröna vilken roll berggrunden har som barriär.

6.4.4 Strålskydd av miljön

Den första paragrafen i strålskyddslagen från 1988 (SFS 1988:220) lyder: ”Syftet med denna lag är att människor, djur och miljö ska skyddas mot skadlig verkan av strålning.”

Länge ansåg man att om regelverket ser till att människan är skyddad, så kommer per automatik också miljön och djuren att vara skyddade, därför att människans strålkänslighet är större. På senare tid har emellertid detta synsätt ifrågasatts och i de senaste rekommendationerna från den internationella strålskyddskommissionen (ICRP), som finns publicerade i ICRP Publikation 103 (2007), väcktes frågan om att utveckla ett regelverk för strålskydd av biota i en vidare bemärkelse. I sammanhanget påpekades också att detta är en mycket komplex fråga, då det dessutom är svårt att i ett regelverk formulera vad som ska skyddas, och vilka effekter som detta ska skyddas emot. I det fortsatta arbetet måste därför dessa frågor identifieras och definieras.

Effekterna på biota har sin förklaring, på samma sätt som för människa, i att joniserande strålning påverkar cellerna, i första hand DNA, men även andra cellfunktioner kan påverkas. Då det gäller att skydda miljön mot skadliga effekter av strålning är effekten ”tumörinduktion” inte förstahandsvalet för andra organismer än människa. I stället är det bl.a. förmåga att föröka sig, som är en av de kritiska effekterna, vid sidan av överlevnad. I praktiken kan man uttrycka det så att det är den biologiska mångfalden som ska bevaras.

Påverkan på miljön genom ökade stråldoser kan definieras som att de organismer som förekommer naturligt i en biotop påverkas på ett sådant sätt att de inte längre kan anpassa sig att leva i denna miljö. Som en början på ett regelverk för strålskydd för miljön har ICRP i Publikation 108 (2008) identifierat och föreslagit en definition på vad som, i detta sammanhang, menas med ”skadliga effekter”. Utöver detta har ICRP också identifierat och föreslagit ett antal referensorganismer, representerande flora och fauna. För dessa organismer kommer man att gå vidare med studier av

strålkänslighet och dosimetri. De effekter som ICRP valt att särskilt fokusera på, i samband med att man utvecklar en terminologi och ett system för strålskydd av miljön (eg. icke-humana organismer) är (ICRP 2008):

- Mortalitet, en för tidig död av organismen leder till en förändring av åldersfördelningen och populationsdensiteten.
- Morbiditet, vissa sjukliga förändringar kan leda till att organismen får svårare att anpassa sig till sin normala miljö.
- Reducerad reproduktionsförmåga.
- Kromosomskador, mutationer.

Organismerna som man valt ut som referensorganismer representerar olika ekologiska nischer:

- Större landlevande däggdjur – Hjort
- Litet landlevande däggdjur – Råtta
- Akvatisk fågel – Anka
- Amfibiedjur – Groda
- Sötvattensfisk – Forell
- Marin fisk – Plattfisk
- Insekt – Bi
- Marint kräftdjur – Krabba
- Ringmask – Daggmask
- Stor landlevande växt – Barrträd
- Mindre landlevande växt – Gräs
- Sjögräs – Brunalger

Geras'kin m.fl. (2008) har studerat hur organismer, andra än människan, har påverkats av strålningen i närområdet till Tjernobyl. Vid de lägsta doshastigheterna ner till ca 50 mGy per år har man registrerat genetiska effekter, dvs. bestående förändringar i DNA, i barrträd och däggdjur. Baserat på olika studier har också

IAEA kommit fram till att doser < 500 mGy/år, kan betraktas som "säkra för djur" och $< 3\,650$ mGy/år som säkra för terrestra växter.

För de olika referensorganismerna har ICRP skattat s.k. "Derived considerations reference levels" (DCRL), vilket är ett intervall för doshastighet, där det sannolikt finns någon slags skadlig effekt av strålningen för respektive referensorganism. ICRP har också utifrån den vetenskapliga litteraturen tagit fram dosomvandlingsfaktorer för de olika ingående organismerna (ICRP, 2014). Tyvärr är det dock mycket ont om relevanta data på hur kronisk exponering med låg dos och låg doshastighet, dvs. lägre än 0,1–1 mGy/dag, påverkar organismer. Endast för referensdaggdjuren (hjort och råtta) har man kunnat observera effekter då de varit utsatta för denna doshastighet under en längre tid. Man har därför, för övriga organismer, i stället valt att utgå från vid vilka dosnivåer man kunnat observera "akuta" svåra skador, och sedan satt DCRL tusen gånger lägre. DCRL hamnar då på 0,1–1 mGy/d som är ca 40–400 gånger så mycket som dosgränsen för allmänheten på 1 mGy/år.

6.5 Vad har vi lärt från utsläpp av radionuklider i miljön?

Skillnader mellan olyckor och utsläpp jämfört med läckage från ett slutförvar

Under historiens lopp har radioaktiva ämnen släppts ut i miljön som ett resultat av människans aktiviteter. Dessa utsläpp genom olyckor, bristfälliga skydd, eller avsiktliga utsläpp såsom kärnvapentesterna har kunnat utnyttjas för studier av hur radionuklider omsätts i miljö och människa, samt om strålningens risker för såväl människa som växter och djur. I några fall som beskrivs nedan har utsläppet orsakat så pass höga stråldoser till människa eller miljö att de medfört påvisbara skadliga effekter.

Praktiskt taget har samtliga dessa utsläpp det gemensamt att radionukliderna spridits i atmosfären, eller på jordytan, alternativt i vatten, hav eller floder. Detta skiljer sig från ett läckage från ett slutförvar för använt kärnbränsle, där källan finns ca 500 m ner i berget. Kärnvapentester under jord kan visserligen läcka, men förhållandena skiljer sig i övrigt i stor utsträckning från slutförvarets.

Skillnaden i transport av radioaktiva ämnen via grundvatten jämfört med atmosfärisk spridning och deposition har avgörande betydelse för exponeringen av människan i två avseenden. Vid ett nedfall från kärnvapen eller utsläpp från ett kärnkraftverk kommer i ett första skede intag via inhalation att ha relativt stor betydelse. Dessutom kommer depositionen av radionuklider ytligt på marken initialt att medföra en betydande extern exponering förutsatt att radionukliden sänder ut gammastrålning. Radioaktiva ämnen som tillförs biosfären ovanifrån via torrt eller vått nedfall kommer att få en effektiv ingång i näringskedjan via de gröna växtdelarna, där klyvöppningarna i bladen utgör en "port" in till växtens inre. Detta är vanligtvis betydligt effektivare upptag än rotupptaget.

En annan, högst väsentlig, skillnad är att utsläpp som kommer ut från slutförvaret har åldrats betydligt, vilket innebär att radionuklid-sammansättningen skiljer sig från det man ser i ett nedfall från kärnvapentester eller olyckor. För olyckor i kärnkraftverk återspeglar radionuklidsammansättningen hur länge bränslet använts. Särskilt kan noteras att några av de nuklider, som har bidragit till den största dosen från nedfallet i stor utsträckning kommer att saknas om utsläppskällan är slutförvaret, eftersom de kommer att ha sönderfallit, t.ex. finns det inget kvar av ^{131}I som med en halveringstid på endast 8 dagar hinner försvinna redan innan bränslet tas ut ur mellanlagringsbassängerna. Isotoper som har den största betydelsen i nedfallet från kärnvapen och också från Tjernobylyolyckan, ^{137}Cs - och ^{90}Sr , båda med en halveringstid på ca 30 år, kommer att ha hunnit tappa i betydelse avsevärt, även om de p.g.a. av en hög initial aktivitet fortfarande kan ha viss betydelse. Långlivade ämnen, som kan finnas i de utsläpp man kunnat studera har vanligtvis, p.g.a. sin långa halveringstid, en mycket lägre aktivitet, och har därför ofta kommit i skymundan vid studierna. Kunskap om omsättningen av dessa isotoper kan i stället ofta baseras på vad man känner till om deras stabila motsvarigheter.

Tabell 6.3 Jämförelse av exponeringsvägar mellan läckande slutförvar och en deposition av radionuklider från ett radioaktivt nedfall

Efter läckage från geologiskt slutförvar	Nedfall från kärnvapentester eller olycka
Radioaktiva ämnen kan "endast" komma in i växter via rotupptag	Upptag via klyvöppningarna är vanligen den viktigaste vägen till upptag vid nedfall på gröna växter. Mycket effektivare än rotupptag.
Ingen, eller obetydlig, förekomst av radionuklider på ytan av gröna växter	Radioaktiva ämnen kan komma in i en födoämneskedja genom att de fäst på yta av gröna växter som äts av djur eller människa
Försumbar dos via inhalation	Inhalationsdosen kan under vissa förhållanden vara betydande. Störst betydelse har detta för ämnen som endast i mycket liten utsträckning tas upp från mag-tarm kanalen, t.ex. plutonium.
Extern bestrålning från översta markskiktet har nästan ingen betydelse eftersom strålningen från radionukliderna attenueras i marken	Extern bestrålning har initialt stor betydelse, innan radionukliderna trängt ned i marken
Huvudsakligen långlivade radionuklider, $T_{1/2} > 100$ år kommer att kunna ge ett signifikant dosbidrag på sikt.	Kortlivade och medelkortlivade radionuklider har störst betydelse
Grundvatten kan vara en viktig dosbidragsgivare	Ytvattentäcker kan ge bidrag till dos i större utsträckning än grundvatten

6.5.1 Kärnvapentesterna

De atmosfäriska kärnvapenprov, som stormakterna företog sig på 1950- och 60-talen, resulterade framför allt i ett globalt spritt nedfall av relativt kortlivade fissionsprodukter. Genom att studera dessa ämnens omsättning i naturen, kunde man skaffa sig kunskap som ligger till grund för de beräkningar av dessa ämnens rörlighet i biota och upptag i de näringskedjor som leder till människan.

Vid de tester som gjordes i Semipalatinskområdet i Sovjetunionen under sent 1940-tal och tidigt 50-tal kom relativt stora grupper människor tillhörande lokalbefolkningen att utsättas för doser på upp till drygt 1 000 mSv. Än så länge har ett mycket begränsat antal epidemiologiska studier gjorts i området, men data

pekar här mot en något större risk än de som härletts från de överlevande i Hiroshima och Nagasaki 1945 (Bauer m.fl. 2005).

6.5.2 Tjernobyli

Kärnkraftsolyckan i Tjernobyli 1986 medförde en omfattande spridning av radioaktiva ämnen, som föll ner över stora delar av Europa. Som ett resultat av radioaktivt kontaminerad mark i det forna Sovjetunionen kom ungefär 5 miljoner människor att utsättas för stråldoser som kraftigt överskred den naturliga bakgrundens stråldos.

Man har uppskattat en medeldos på 10 mSv från nedfallet till de drygt 5 miljoner personer som lever inom det mest kontaminerade området ($> 37 \text{ kBq/m}^2$) över en tidsperiod på 20 år.

Omfattande internationella studier i dessa kontaminerade områden vad gäller effekter på människa och biota har tillfört viktig ny kunskap om strålningens effekter.

Nedfallet från Tjernobyli dominerades av de ämnen i reaktorn, som var de mer lättflyktiga, och därför steg upp högre i atmosfären vid branden, dvs. fissionsprodukter med relativt korta halveringstider. Det dominerande bidraget till exponeringen varierade med tiden. Först var det kortlivade jodisotoper, särskilt ^{131}I , som framför allt genom födoämneskedjan gräs – ko – mjölk kom att ge relativt höga doser till sköldkörteln och då företrädesvis hos barn (eftersom de konsumerar mest mjölk). Detta fick till resultat att en ökad frekvens av tyroideacancer har kunnat observeras för barn i närområdet som var yngre än 18 år när olyckan inträffade. Anmärkningsvärt för dessa cancerfall var att de började uppträda redan 4–5 år efter olyckan vilket var tidigare än väntat (UNSCEAR, 2000).

I samband med saneringen av kraftverket efter olyckan, utsattes ca 200 000 arbetare för höga stråldoser. Epidemiologiska studier av denna grupp visar som förväntat på en förhöjd risk för leukemi (UNSCEAR, 2000).

Någon månad efter haveriet dominerades de externa doserna av strålningen från ett flertal fissionsprodukter följt av interndosbidrag från ^{137}Cs . Denna isotop är också den vars omsättning studerats mest intensivt i biosfären.

^{137}Cs som har en halveringstid på 30 år förekommer i tillräckligt stora mängder för att den ska vara av intresse även vid läckage från ett underjordiskt förvar, om detta inträffar i ett mycket tidigt skede. I det fallet kommer dock tillgängligheten för biota att vara lägre än vid nedfall från atmosfären, eftersom detta kräver att radionukliden tas upp till växterna via rötterna.

6.5.3 Mayak

Mayak, i Ozyork i södra Uralbergen, är en anläggning där Sovjetunionen producerade sina kärnvapen. Från 1948 och flera år framåt släpptes, vanligtvis avsiktligt, ut betydande mängder av radioaktiva ämnen såväl till atmosfären (på låg höjd), som (framför allt) till floden Techa, som är ett biflöde till Ob. Detta beskrivs t.ex. i en rapport från Statens strålevern, i Norge (Strandring m.fl. 2008). Dessa utsläpp medförde att man under perioden 1953–60 fick lov att evakuera personer boende i närområdet till floden, p.g.a. att de hade fått alltför höga stråldoser. Man har uppskattat stråldoser för evakuerade personer på upp till 1700 mSv.

När en termisk explosion inträffade 1957 i en avfallstank i Mayakområdet medförde denna ytterligare spridning av radionuklider i närområdet.

Epidemiologiska studier rapporterar signifikanta effekter i form av leukemi och solida tumörer. Särskilt ^{90}Sr i dricksvattnet i området runt floden har bidragit till de många leukemifallen. Genom studium av mer än 20 000 internkontaminerade personer har man även fått bättre kunskap om hur strontium omsätts i kroppen. Risken för cancer efter denna typ av exponering har befunnits vara något lägre men fortfarande jämförbar med den riskuppskattning som baseras på studierna av de överlevande från Hiroshima och Nagasaki.

6.5.4 Fukushima

Efter kärnkraftshaveriet i Fukushima 2011 blev efterföljande utsläpp av radioaktiva ämnen både till luften och till havet betydande. Det är ännu för tidigt att förvänta sig effekter i form av ökad cancerfrekvens i området. Man bedömer dock att ca 250 000

individer utsatts för externa doser överstigande 1 mSv, till det tillkommer även interna doser (Yamashita, 2014).

6.5.5 Övriga

Bland övriga utsläpp kan särskilt nämnas plutonium från t.ex. satelliter som brunnit upp i atmosfären eller störtat ner på jordytan, såsom SNAP-9A, som 1964 brann upp ovanför Madagaskar och som innehöll 630 TBq alfastrålande ^{238}Pu (Hardy, 1973). Andra händelser är kärnvapenbärande flygplan som störtat vilket inträffade i Palomares i Spanien 1966 och på isen utanför Thule på Grönland 1968. Ingen av olyckorna har medfört mätbara skadliga effekter på människor eller miljö, men de har inneburit att man kunnat studera hur plutonium sprider sig såväl i havet som på land. Dessutom har man kunnat mäta upptag av plutonium i människa vilket gett en kunskap om hur ämnet tas upp och omsätts i kroppen.

Tabell 6.4 Utsläpp i miljön

Vad?	Noterat
Kärnvapensprängningar i atmosfären. Lokal spridning.	Vissa ställen med betydande nedfall av kortlivade ämnen: Semipalatinsk – Höga doser till lokalbefolkningen epidemiologiska studier pågår. Nevada – Militär personal utsattes för bestrålning, en viss överdödighet i leukemi har kunnat påvisas. Marshallöarna i Stilla havet – civila utsattes för kraftigt nedfall av ¹³¹ I. Maralinga – i södra Australien. Brittiska kärnvapentester på 50-talet. Även mekaniska sprängningar av atombomber, ger bl.a. plutoniumfragment. Urbefolkningen i området, som hittade fragment exponerades.
Kärnvapensprängningar i atmosfären. Global spridning.	Har gett möjligheter att studera transport och omsättning av radioaktiva ämnen i biosfären, <ul style="list-style-type: none"> • Rotupptag i växter. • Transport med ytvatten. • Transport in i födoämneskedjorna. I detta fall är den dominerande vägen in i växter nedfall direkt på gröna växtdelar och sedan in i växten via klyvöppningarna.
Windscale 1957. Brand i militär grafitmodererad reaktor.	Framför allt ¹³¹ I utsläppt i närområdet. Utöver detta har upparbetningsanläggningen släppt ut stora mängder ¹³⁷ Cs i havet (Irländska sjön). Detta har kunnat spåras under lång tid i Nordatlanten, och angränsande hav.
Mayak 1957. <ul style="list-style-type: none"> • Utsläpp i Tschafloden 1949-1956. • Termisk explosion i avfallstank. • Spridning av aktivitet från uttorkad sjö. 	Anläggning för produktion av kärnvapen i Sovjet. Möjligheter att studera <ul style="list-style-type: none"> • effekten av kroniskt låga stråldoser till befolkningen • effekten av höga stråldoser till växtlighet • kinetik för ⁹⁰Sr vid kroniskt intag. Framför allt ⁹⁰ Sr och ¹³⁷ Cs.
Tjernobyl 1986. Utsläpp av stora mängder radioaktiva ämnen via luften över stora delar av Europa.	Närområdet: Tyroideacancer hos barn p.g.a. intag av ¹³¹ I via kedjan gräs – ko – mjölk. Cancerfallen uppträdde tidigare, och i högre frekvens, än förväntat. Strålskador på biota. Sverige: Ny kunskap om omsättning av ¹³⁷ Cs i skog och vilt. Överföringsvägar till människa av ¹³⁷ Cs via olika födoämneskedjor (SSI, 2006).
Fukushima 2011.	Utvärdering av effekter på människor pågår. De sammanlagda utsläppen uppgår till ca 1/10 av de aktiviteter som släpptes ut från Tjernobyl.
Goiania, Brasilien 1987.	Skrotad ¹³⁷ Cs strålkälla stals från deponi, och orsakade akuta strålskador på ett stort antal individer.

Mindre utsläpp kring nukleära installationer i USA och Kanada.

Har bidragit till information om hur radioaktiva ämnen rör sig i biota, särskilt vid utsläpp i floder, t.ex. i Columbiafloden i Washington där USA:s nukleära forskningslaboratorier, Hanfordlaboratorierna, släppt ut signifikanta mängder av olika radionuklider.

6.6 Perspektiv i tid på risk för människa

Kommer människans och biotas strålkänslighet att förändras över tid?

Riskuppskattningen och säkerhetsanalysen är baserad på kunskap som i huvudsak har genererats under det senaste halvsekle. En förutsättning för att riskuppskattningen är hållbar över 100 000 år utgår från antagandet att människans och biotas strålkänslighet inte kommer att förändras på ett avgörande sätt under denna tidsrymd.

Den ena frågan som behöver belysas är hur evolutionen i ett 100 000 års perspektiv kan komma att påverka människan och biota vad gäller strålkänslighet. Det scenario som är relevant att utvärdera gäller om en evolution är tänkbar som leder till ökad strålkänslighet. Förutsättningen för evolutionen är att vår arvs-massa är föränderlig, dvs. att cellens reparationsmekanismer av skador på arvsmassan inte är perfekt, utan att ärftliga förändringar (mutationer) uppstår kontinuerligt vilket genom selektion ger förutsättningar för att arter kan anpassa sig till förändringar i miljön som annars skulle kunna hota en arts fortlevnad (Darwins *Om arternas uppkomst* från 1859). Denna "brist" i precision vad gäller cellens reparationsförmåga utgör således en förutsättning för evolutionen men har samtidigt sitt pris för individen då den är huvudmekanismen för åldrande och de åldersrelaterade sjukdomarna som exempelvis cancer.

En evolution som skulle medföra att en större andel av populationen får ökad strålkänslighet skulle sannolikt medföra att cancer och andra åldersrelaterade sjukdomar debuterar tidigare, inklusive högre risker för negativa ärftliga förändringar. En sådan utveckling borde motverkas av den naturliga selektionen. Ur ett evolutionistiskt perspektiv är dock 100 000 år en relativt kort tidsrymd och genetiska analyser av våra förfäder som levde för 10 000-tals år sedan visar på små förändringar jämfört med dagens människor trots att livsmiljön har ändrats drastiskt.

Den andra frågan rör om människans livsbetingelser kan ändras så att människors strålkänslighet påverkas. I en miljö där risken för cancer och andra åldersrelaterade sjukdomar ökar kan effekterna av strålning leda till att dessa sjukdomar debuterar tidigare. Av avgörande betydelse är även livsbetingelserna om 100 000 år vad gäller teknologi, medicin och samhällsstruktur.

6.7 Osäkerheter i riskbedömningen

Osäkerheter i riskbedömning för låga doser och doshastigheter vad gäller cancer, hjärt- och kärlsjukdomar etc. kan diskuteras på basis av det vetenskapliga underlag som beskriver dosresponskurvans form för olika doshastigheter och strålkvalitéer men också huruvida gällande strålskyddsregler på tillfredsställande sätt skyddar människor och miljön. Vad gäller den linjära riskmodell utan trösklar (LNT-modellen), som används för att beräkna risk för cancer i lågdosområdet, så finns ett omfattande stöd i forskarsamhället för att modellen inte underskattar risken på ett sätt som äventyrar hälsan hos exponerade populationer. Baserat på de stora epidemiologiska studier som genomförts på tiotusentals människor kan osäkerheten i riskbedömning i dosintervallet 20–100 mSv inte vara större än en faktor 2. Vad gäller dosintervallet 1–10 mSv är osäkerheten större men sannolikt mindre än en faktor 5. Av 100 000 personer i Sverige förväntas enligt tillgänglig statistik mellan 15 300 och 20 700 (medelvärde 18 000) att dö i cancer. Uppräknas strålningsrisken med en faktor 5 skulle antalet cancerfall i en population på 100 000 människor som exponerats för 10 mSv öka från 50 fall som orsakats av strålning till 250 fall dvs. från en förväntad nivå på 18 050 till 18 250. Vad gäller regler för skydd av människor för exponering av kemikalier genom utsläpp eller genom föda finns inte en jämförbar precision i riskbedömning och för kemikalier med förväntade genotoxiska egenskaper utgör LNT-modellen en standard för riskbedömningar.

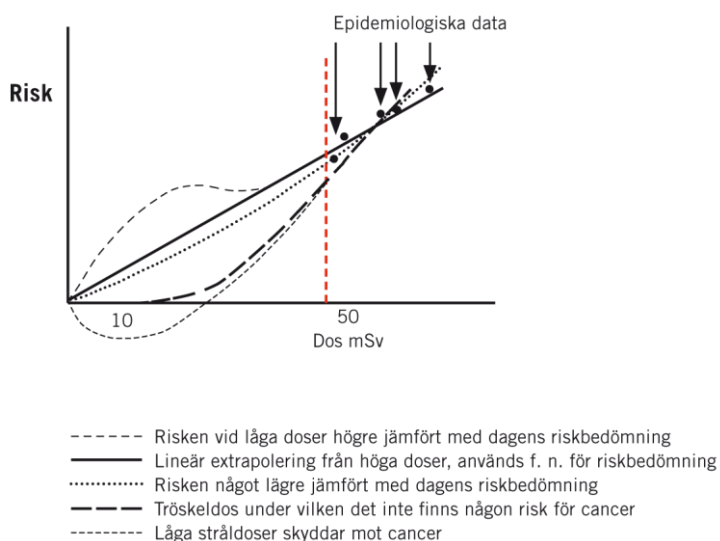
Ur vetenskaplig synpunkt är det viktigt att förstå verkan av låga doser, doshastigheter och olika strålkvalitéer på celler och organ. Om forskningen kan beskriva hur olika strukturer i cellen påverkas samt vilka processer som initieras får man en mekanistisk förståelse av strålningsinducerade processer i celler och organ och om dessa

relaterar till skyddsfunktioner, generell stressrespons och om det finns tröskeldoser och doshastigheter under vilka respons saknas eller ändrar uttryck. Resultat från denna forskning kan sedan analyseras i termer av stöd för eller kritik av LNT modellen.

Nedan beskrivs sex frågor som har legat till grund för de sista 30 årens forskningsfokus internationellt och som fortfarande är hög-prioriterade inom Euratoms forskningsprogram för strålskydds-forskning:

1. Hur ser dosrespons sambandet ut för cancerrisk vid doser under 50 mSv och för doshastigheter < 10 mSv/timme? (Se fig. 6.2).
2. Hur ser dosresponskurvan ut för hjärt- och kärlsjukdomar, kognitiv förmåga samt skador på ögats lins vid doser under 100 mSv och för låga doshastigheter?
3. Vilken riskmodell beskriver bäst genetiska effekter på människa?
4. Hur stor skillnad finns på individnivå vad gäller risker med strålning?
5. Hur påverkas risken vid exponering för andra strålkvaliteter än fotoner?
6. Hur påverkas riskbedömningen vid internbestrålning?

Figur 6.2 Olika modeller för dosresponskurvans form för cancerrisk



Den linjära dosresponskurvan för cancer vid doser under 50 mSv som används inom strålskyddet för uppskattning av risk är, som diskuteras ovan, inte baserad på vetenskapliga resultat utan bygger på hypotesen att risken är linjärt extrapolerbar (LNT) från de högre doser där säkra epidemiologiska data finns. Epidemiologiska studier är det kraftfullaste verktyget för att bedöma risk i de fall de bygger på studier av mycket stora grupper av människor med god kunskap om bl.a. dosimetri och med långtidsuppföljning vad gäller hälsoeffekter. Då omfattas även effekter av livsstil, individuell känslighet och andra faktorer som kan påverka cancerrisken. Upplösningen för epidemiologiska cancerundersökningar begränsas av den bakgrunds nivå av cancer som normalt finns i populationen och då ca 35 procent av en normalpopulation kommer att få cancer så är det mycket svårt att särskilja ökning på tiondelar av procent i cancerincidens som kan ha orsakats av strålning i mSv-området. Vid en dos av 5 mSv till en population av 100 000 människor så ger den LNT-baserade riskuppskattningen en ökning med 25 fall av dödlig cancer dvs. från 18 000 till 18 025 fall. Detta är omöjligt att verifiera med epidemiologiska metoder och således kan ingen av de olika formerna för dosrespons i fig. 6.2 uteslutas. I avsnittet nedan kommer några aktuella strategier att beskrivas som syftar till att överbrygga dessa kunskapsluckor.

6.8 Forskningsfronten

I Europa har man tagit flera initiativ för att identifiera och prioritera forskningsfrågor av betydelse för riskbedömning vad gäller effekter av låga doser och doshastigheter. En övergripande strategi beskrivs i en rapport som utkom 2009 av "High level and expert group. European low dose risk research, Radiation protection".¹ Vidare startade ett "Net work of excellence" DoReMi 2010 med stöd av Euratom som följdes av OPERRA och 2015 av CONCERT Dessa program utformar strategiska forskningsagendor som implementerats i de forskningsprogram som stötts av FP7 i EU samt nu utlyses inom ramen för Horizon 2020.

¹ https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/hleg_report_-_january_2009.pdf (hämtad 2015-12-01).

De sex frågor som beskrivs i avsnittet ovan ger en kortfattad sammanfattning av de forskningsprogram som prioriterats vad gäller forskning om strålsäkerhet finansierad av Euratom.

Redan i rapporten från 2009 framförs att kunskapsluckorna som identifierats för lågdosområdet inte kan besvaras med den traditionella epidemiologin då känsligheten inte räcker till utan fokus hamnar i stället på att utnyttja den ”moderna biologin” för att erhålla en mekanistisk förståelse som kan utvärdera vilken eller vilka av de olika dosresponsmodellerna som visas i fig. 6.2 som stöds av forskningen. Med den moderna biologin avses t.ex. att kartlägga cellernas genuttryck, proteinuttryck och därav orsakade funktionella respons exempelvis DNA-reparation. Nya forskningsresultat har visat att cellers gen- och/eller protein-uttryck påverkas av doser i mGy-området samt att förändringar i dessa uttryck ofta har ett dosrespons-samband med tröskelvärden.

Forskningsfronten för **dosrespons samband i lågdosområdet** omfattar således även en kartläggning av vilka cellulära funktioner som påverkas av låga doser, dels för att erhålla en mekanistisk förståelse, dels för att identifiera biomarkörer som kan användas för öka precisionen vad gäller epidemiologiska studier, något som reflekteras i begreppet molekyläpidemiologi. Exempel på sådana biomarkörer är markörer som kan visa att en person varit exponerad för joniserande strålning, biomarkörer som kan användas för att uppskatta dos och biomarkörer som kan visa om en cancer har uppkommit genom strålning. Nyligen har studier på barn som exponerades för ^{131}I i samband med utsläppen från Tjernobyl identifierat en biomarkör som visar att deras sköldkörtelcancer är strålningsinducerad.

Vad gäller risk för **hjärt- och kärlsjukdomar** så har långtidsuppföljning av de överlevande från Hiroshima och Nagasaki visat att det vid doser över 500 mSv finns en statistiskt säkerställd ökning. Kunskap hur utvecklingen för dessa sjukdomar påverkas av strålning och hur dosresponskurvan ser ut under 500 mSv är begränsad och förhoppningar finns att mekanistiska studier i olika modellsystem som celler i kultur samt studier på möss ska kunna ge ökad kunskap om samband mellan strålning och hjärt-och kärlsjukdomar.

Risken för **genetiska effekter** av strålning är i första hand uppskattad från studier på möss och osäkerhet råder i vilken

omfattning dessa risker är direkt överförbara till människan. De nya kraftfulla verktygen för analys av mutationer i det mänskliga genomet (ex. Next generation sequencing) öppnar för möjligheter att kunna belysa huruvida strålningsinducerade mutationer i könsceller medför ökad risk för ärftliga genetiska förändringar samt samband med dos, doshastighet och strålkvalité.

Individuell strålkänslighet har framför allt uppmärksammats i samband med strålterapi av cancer.

Strålterapi tillsammans med kirurgi är den vanligaste formen av cancerbehandling och ca 35 000 svenskar får varje år diagnosen cancer. Huvuddelen av de patienter som erhåller strålterapi får små eller inga biverkningar efter behandlingen. Några få procent uppvisar dock akuta eller sena biverkningar i organ som befunnit sig i strålfältet, det kan röra sig om hudskador eller förändringar i lunga eller hjärta då det gäller bröstcancer, eller i tarm och urinblåsan då det gäller strålterapi av prostatacancer, eller gynekologisk cancer. Forskning som syftar till att kartlägga mekanismerna bakom den individuella strålkänsligheten har flera syften, dels att utveckla diagnostiska metoder för att kunna identifiera patienter som är särskilt strålkänsliga, vilket skulle ge möjlighet att ge de normalkänsliga patienterna en högre dos och en bättre tumörkontroll. Dels att undersöka den viktiga frågan om individuell strålkänslighet även tar sig uttryck vid låga doser och doshastigheter och huruvida en del av befolkningen har högre risk att utveckla cancer än vad som förutsetts med LNT-modellen.

Tidigare forskning har visat att vissa genetiska syndrom som omfattar gener som är involverade i DNA-reparation eller skadesignalering gör bärarna av dessa mutationer mycket strålkänsliga. Sådana förändringar är dock ovanliga bland dem som klassats som strålkänsliga efter strålterapi, vilket gör att forskningen nu är fokuserad på att identifiera genetiska förändringar som inte leder till förlust av viktiga funktioner, t.ex. olika former av DNA-reparation, utan snarare försämrar precisionen och därmed ökar risken för att strålskador ska felrepareras. Det finns ett stort antal gener som har funktioner vad gäller reparation, och forskning har initierats som syftar till att kartlägga om strålkänslighet är associerad med att flera gener med nedsatt funktionalitet samverkar.

De två återstående prioriterade forskningsfrågorna rör riskbedömning av låga doser och doshastigheter vad gäller **andra strålnings typer än fotoner** och osäkerheter i risk om stråldosen kommer från instabila nuklider som andats in eller upptagits via födan. För dessa områden utgör epidemiologiska studier ett viktigt underlag och utveckling av molekylärbiologiska metoder bedöms kunna ge viktiga bidrag till riskuppskattning efter exponering i lågdos- och lågdoshastighetsområdet.

Referenser

- Andersson, P. m.fl. 2007. *Strålmiljön i Sverige*. SSI Rapport 2007:2. Statens strålskyddsinstitut.
- Bauer, S., Gusev, B.I., Pivina, L.M., m.fl. 2005. Radiation exposure due to local fallout from Soviet atmospheric nuclear weapons testing in Kazakhstan: Solid cancer mortality in the Semipalatinsk historical cohort, 1960–1999. *Radiat Res.* 164: 409–19.
- Geras'kin, S.A., Fesenko, S.V. och Alexakhin, R.M. 2008. Effects of non-human species irradiation after the Chernobyl NPP accident. *Environment International* 34:880–97
- Hardy, E.P., Krey, P.W. och Wolchok H.L. 1973. Global inventory and distribution of fallout plutonium. *Nature* 241:444–445.
- Hendry, J.H., Simon, S.L., Wojcik, A., m.fl. 2009. Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radiation risks? *Journal of Radiological Protection* 29: A29–A42.
- ICRP. 1991. *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1–3).
- ICRP. 2007. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4).
- ICRP. 2008. *Environmental Protection – the Concept and Use of Reference Animals and Plants*. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38 (4–6).

- ICRP. 2012. *Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60*. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.).
- ICRP. 2013. *Radiological Protection in Geological Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste*. ICRP Publication 122. Ann. ICRP 42(3).
- ICRP. 2014. *Protection of the Environment under Different Exposure Situations*. ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1).
- ICRP. 2015. *Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1*. ICRP Publication 130. Ann. ICRP 44(2).
- Kärnavfallsrådet. 2007a. SOU 2007:38 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2007 – nu levandes ansvar, framtida generationers frihet*. Stockholm: Fritzes.
- Kärnavfallsrådet. 2007b. *Riskperspektiv på slutförvaring av kärnavfall – individ, samhälle och kommunikation* som är en fördjupningsrapport av SOU 2007:38. Rapport 2007:4. Stockholm: Fritzes.
- SKB. 2010. *Radionuclide transport report for the safety assessment SR-Site*. SKB-rapport TR-10-50. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SSI. 2006. Tema Tjernobyl 20 år. *Strålskyddsnytt* Nr 1. Se: www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Tidskrift/Stralskyddsnytt/2006/SSN_1_2006.pdf (hämtad 2015-12-01).
- SSM. 2008. *Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall*. (SSMFS 2008:37). Strålsäkerhetsmyndigheten.
- Strandring WJF., Dowdall, M. och Mehli, H. 2008. *Mayak Health report: Dose assessments and health of riverside residents close to "Mayak" Production Association*. *Strålevern*. Rapport 2008:3. Østerås: Statens strålevern. Norge.
- Yamashita, S. 2014. Tenth Warren K. Sinclair keynote address – The Fukushima nuclear power plant accident and comprehensive health risk management. *Health Phys.*: 166–18.
- UNSCEAR. 2000. Annex J. Exposures and effects of the Chernobyl accident. In UNSCEAR 2000 report *Vil II: Sources*

and effects of ionizing radiation. Effects. New York: United Nations. 2014.

Lagar Svensk författningssamling

Strålskyddslag (1988:220). Miljö- och energidepartementet.

7 Strategier för mätprogram i planerade slutförvarsanläggningar

7.1 Bakgrund

I Kärnavfallsrådets kunskapslägesrapport från 2015 *Kunskapsläget på Kärnavfallsområdet 2015: Kontroll, dokumentation och finansiering för ökad säkerhet* (Kunskapslägesrapport 2015) diskuterades mätprogram för övervakning i förslutna områden. Syftet var att: ”belysa hur frågan om mätprogram i förslutna områden behandlas i Europa utanför Sverige, speciellt vad gäller teknik- och strategiutveckling.” Fokus i rådets Kunskapslägesrapport 2015 låg på internationella ansträngningar att utveckla ny mätteknik och planera för tekniska installationer i förslutna områden för att mäta tillståndet hos de tekniska barriärerna och i berget i den störda zonen¹. Den följande framställningen följer upp kapitlet i kunskapslägesrapporten från 2015 men med bredare fokus mot *strategier* för övervakning.

Syftet med uppföljningen är att få ytterligare kunskap om användning av resultat från mätprogram från genomförda och planerade EU-projekt och nationella slutförvarsprogram.

Viktiga frågor är varför mätningar i förslutna områden anses behövas, efter vilka principer sådana program ska utformas och hur resultaten från programmen ska användas, men också hur konflikt med föreskrifter om passiv långsiktig säkerhet kan undvikas. Utgångspunkt för diskussionerna är genomförda och planerade EU-projekt, men dessutom har studiebesök gjorts vid Posivas

¹ Excavation Disturbed eller Damaged Zone, (EDZ) refererar till den delen av berget som blivit påverkat av sprängning, borrhning och annan bearbetning under berguttaget.

demonstrationsförvar i Finland och planerna för ett övervakat slutförvar i Schweiz studerats mera noggrant.

En central strategisk fråga gäller syftet av ett mätprogram för förslutna områden: vilka problem kan programmet lösa som inte kan lösas enklare och billigare genom mätningar i lättillgängliga områden? Tabellen i figur 7.1 visar att de flesta uppgifterna för ett övervakningsprogram kan lösas genom mätningar i tillgängliga och öppna områden. Det gäller exempelvis övervakning av yttre och inre miljö, återkoppling till den kontinuerliga karakteriseringen och modellering av berget med eventuella modifieringar av förvarets utformning, och de flesta kontroller av att konstruktionsförutsättningar är uppfyllda.

Ett huvudargument för övervakning av utvecklingen av tekniska barriärer och berget i den störda zonen i förslutna/pluggade deponeringstunnlar gäller kontroll av säkerhetsanalysens krav. Kapitlet "Mätprogram för förslutna områden" i Kunskapslägesrapport 2015 konstaterade att fokus för ett KBS-3-förvar framför allt ligger på bentonitbufferten och återfyllningen i deponeringstunnlarna. Till skillnad från andra barriärer kräver säkerhetsanalysen att dessa två barriärer måste förändras *efter förslutning* för att uppfylla sina säkerhetsfunktioner. Bufferten och återfyllningen måste vattenmätas på plats i den förslutna deponeringstunneln för att förvaret ska uppnå sitt idealtillstånd. En strategi för övervakning av ett KBS-3-förvar måste således innehålla ett mätprogram som gör det möjligt att visa att utvecklingen i de två barriärerna ligger inom de gränser som sätts av säkerhetsanalysen (Kärnavfallsrådet, 2012, kap 3).

Värdet av ett övervakningsprogram skapas genom uppföljning av mätresultaten. Ur samhällets perspektiv ligger värdet av övervakning i förslutna områden i bidraget till förvarets långsiktiga säkerhet. Uppföljningen kräver en separat organisation med specifika kriterier för intervention i förvaret om mätdata avviker från förväntad utveckling enligt säkerhetsanalysen. Ur projektets perspektiv kan sådana interventioner bli mycket kostsamma, men ett övervakningsprogram kan också bidra till kostnadsreduceringar genom utveckling av enklare och effektivare konstruktionsförutsättningar.

Enligt EU-projektet MoDeRn skapar övervakningsprogrammet också värde utanför projektet, dels i relationerna mellan projektet

och externa intressenter, dels genom kunskapsuppbyggnad inför konstruktionen av framtida förvar. I det förra fallet kan övervakningsprogrammet bidra till transparens och ökad tillit till projektets aktörer, i det senare fallet kan värdet mätas i ekonomiska termer.

Figur 7.1 Övervakningsprogram under olika faser av ett slutförvar (KF = Konstruktionsförutsättningar)

Område \ Tid	Konstruktion/före drift	Driftfas steg vid förslutning	Övervakningsfas efter drift men före slutlig förslutning	Efter slutlig förslutning
Förvarets omgivning - ovan jord - borrhål	Teknik och process finns - yttre miljö - berget			
Förvarets öppna utrymmen	Teknik och process finns - karakterisering - utformning - arbetsmiljö	Teknik och process finns - karakterisering - utformning - kärnämneskont. - arbetsmiljö - konstruktionsförutsättningar - kvalitetskontroll	Teknik och process finns - arbetsmiljö - kärnämneskont.	
Förslutna/pluggade områden ingående i eller i direkt anslutning till slutförvaret	---(Demonstrationsförvar)---	Teknik och process kräver utveckling - tekniska barriärer - störda zonen - effektivare KF		

Värdet av övervakning måste balanseras mot risken att störa barriärerna och äventyra den passiva långsiktiga säkerheten. I kapitlet "Mätprogram för förslutna områden" i Kunskapslägesrapport 2015 diskuterades utveckling av ny mätteknik för att minimera denna risk. Man kan också hantera risken genom alternativa utformningar av förvaret. I stället för mätningar i hela slutförvaret kan man i stället installera mätinstrumenten i demonstrations- eller pilotförvar. Sådana förvar bör ligga i direkt anslutning till slutförvaret för att få mätresultat, som är representativa för slutförvaret.²

² Ett demonstrations- eller pilotförvar i direkt anslutning till slutförvaret kan definieras som "ett förvar i samma bergsutrymme som slutförvaret och skilt från detta, men med alla relevanta egenskaper, händelser och processer (features, events, processes, FEPs) representativa för slutförvaret".

I Frankrike där lagstiftningen kräver möjlighet att under en viss period återta det deponerade kärnavfallet eftersträvas övervakning med mätinstrument installerade i hela slutförvaret. Därigenom kan man löpande mäta tillståndet i olika delar av slutförvaret, vilket underlättar ett eventuellt återtag. Den schweiziska lagstiftningen kräver ett övervakat pilotförvar, representativt för slutförvaret men rumsligt och hydrologiskt skilt från detta.

I kapitlet diskuteras mål, värde och utformning av olika övervakningsstrategier med utgångspunkt från slutförvarsprojekt i Europa. Principerna för utformning och värdet av övervakningsprogram för förslutna områden tas upp i första avsnittet. Därefter presenteras det omfattande arbetet med Posivas demonstrationsförvar och Schweiz planer på ett övervakat pilotförvar. Därpå diskuteras målsättningarna för ett nyligen startat EU-projekt med deltagande av SKB och nationella organisationer med ansvar för slutförvaring i ytterligare nio europeiska stater samt Japan.

Framställningen har två viktiga begränsningar: fokus ligger på övervakning av förslutna områden och antas i första hand gälla barriärerna i förslutna (pluggade) delar av förvaret vid stegvis deponering fram till slutlig förslutning. Möjligheten att övervaka barriärernas tillstånd i förvaret under den första tiden efter slutlig förslutning berörs men ligger utanför fokus.

7.2 Processer och värdekedja

I EU-projektet MoDeRn³ (2009–2013) ingick nationella organisationer med ansvar för planering och genomförande av slutförvar i tio av EU:s medlemsstater. Rådet lämnade en redogörelse för det tekniska utvecklingsarbetet i kunskapslägesrapporten från 2015. Inom projektet nåddes också samsyn beträffande arbetsprocessen för att utforma övervakningsprogram ("MoDeRn Monitoring workflow"), vilken ligger till grund för arbetet med övervaknings-

³ Monitoring Developments for Safe Repository Operation and Staged Closure (MoDeRn) genomfördes 2009–2013 med 18 partners från 17 länder inklusive USA och Japan. Från svensk sida deltog Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) och sociologiska institutionen vid Göteborgs universitet.

strategier och beslutsfattande i det nu pågående projektet Modern2020⁴.

MoDeRn diskuterade också värdet av ett övervakningsprogram i förslutna områden. I det följande avsnittet presenteras kortfattat MoDeRn:s förslag till arbetsprocess och diskussionen kring värdekedjan för ett övervakningsprogram. Avsikten är att ge en referensram för presentationen av några nationella strategier och beskrivningen av förväntat arbete inom Modern2020.

7.2.1 Processen för utformning av övervakningsprogram – ”MoDeRn Monitoring workflow”

Arbetsprocessen ”MoDeRn Monitoring workflow” presenteras i en av slutrapporterna från projektet (MoDeRn, 2013).

Rapporten understryker att övervakning och mätprogram ska utformas utifrån slutförvarets behov under konstruktion och drift och ge underlag för besluten om stegvis förslutning fram till den slutliga förslutningen. Den förordar en ”top-down” ansats som utgår ifrån några få övergripande mål, som sedan preciseras i en hierarki av delmål. En rimlig tolkning är att ansatsen utesluter mätprogram för övervakning med mål att validera själva säkerhetsanalysen. En sådan validering måste föregå övervakningen, och måste tydligt skiljas från målet att övervaka att barriärerna utvecklas inom de gränser som sätts av säkerhetsanalysen.

MoDeRn sätter upp två övergripande mål som alla typer av övervakningsprogram ska bidra till:

- *Understödja beslutsfattande.* Övervakning med mätprogram ska ge fortlöpande underlag till beslut om stegvis deponering och förslutning.
- *Bygga förtroende.* Övervakningen ska verifiera att slutförvaret utvecklas inom de gränser som sätts av säkerhetsanalysen och att påverkan på den yttre miljön följer miljökraven.

⁴ Development and Demonstration of monitoring strategies and technologies for geological disposal (Modern2020) startade 1 juni 2015 och ska pågå fram till 2020. Projektet finansieras inom EU:s FoU-program Horizon 2020 och har 28 deltagare från 12 länder inklusive Japan. Se: <http://www.igdt.eu/index.php/european-projects/modern2020> (hämtad 2015-12-01).

De två övergripande målen kan brytas ner till fyra huvudmål, som vart och ett genererar behov av övervakningsprogram, vilket återspeglas i figur 7.1. De fyra huvudmålen berör den inre miljön med driftsäkerhet och arbetsmiljöskydd, den yttre miljön med miljöskydd, kärnämneskontroll och slutligen förvarets utveckling och förmåga att garantera långsiktig säkerhet. De tre första målen kan uppnås genom mätningar ovan jord och i förvarets öppna utrymmen. Det fjärde målet gäller utvecklingen i de tekniska barriärerna och i den störda zonen i det omgivande berget. Att övervakningen bör fortgå åtminstone fram till slutlig förslutning framhålls även av NEA:s slutrapport från projektet *Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-Level Radioactive Waste and Spent Fuel* (NEA, 2011). Rådets Kunskapslägesrapport 2015 pekar speciellt på övervakning av bentonitbufferten och återfyllnaden under perioden fram till vattenmättnad.

Målet att övervaka förvarets utveckling och förmåga att garantera långsiktig säkerhet kan ytterligare brytas ner i två delmål, ett för att stödja fortlöpande analys av förvaret och ett för att stödja beslutsfattande inom förvarsprojektet. Övervakningen ska ge:

- Underlag för den kontinuerliga analysen av att utvecklingen i förvaret följer säkerhetsanalysens krav för att uppnå långsiktig säkerhet.
- Underlag för beslut om stegvis deponering och förslutning av slutförvaret.

Övervakningen kräver en organisation för planering, implementering och uppföljning av mätresultat. MoDeRn förutser att organisationen ska hantera tre steg i arbetsprocessen:

- *Mål, processer och parametrar.* Diskussionen ovan om övergripande mål och huvudmål ger en startpunkt för detta steg. Säkerhetsanalysen och dess metodik ger vägledning för det fortsatta arbetet. Med utgångspunkt från säkerhetsfunktionerna för olika barriärer identifieras konkreta processer som påverkar dessa funktioner för att komma fram till vilka parametrar som bör mätas för att verifiera att barriärerna uppfyller säkerhetsanalysens krav. Exempelvis är sex stycken säkerhetsfunktioner kopplade till bentonitbufferten i KBS-3-konceptet, den viktigaste processen som styr måluppfyllelsen är vattenmättnad och

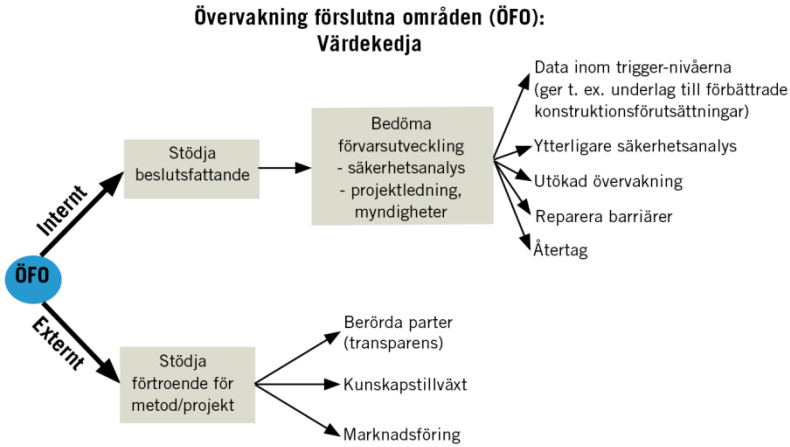
en viktig parameter att mäta är således buffertens fuktighet. Arbetsprocessen omfattar diskussion med externa intressenter (stakeholders) om vilka parametrar som bör mätas. Resultatet från steg 1 är en preliminär lista på parametrar som bör mätas och denna lista är utgångspunkt för arbetet i nästa steg.

- *Utformning (design) av övervakningsprogram.* Ur analytisk synpunkt är detta steg det mest arbetstyngda. De realistiska möjligheterna att mäta de olika parametrarna i den preliminära listan granskas. Relevanta förändringar i en parameter kan visa sig vara omöjlig att mäta under den tid övervakningen pågår därför att tidsskalan för processen är för lång. Exempel är mineralogiska förändringar i betoningbufferten. I andra fall krävs utveckling av ny teknik för mätning i förslutna områden. Sådan teknikutveckling inom MoDeRn-projektet redovisades i Kunskapslägesrapport 2015. Med utgångspunkt från listan av mätbara parametrar utformas därefter övervakningsprogrammet. En mycket viktig del av utformningen är att fastställa triggernivåer, dvs. gränser inom vilka mätdata måste ligga för att säkerhetsanalysens krav på motsvarande säkerhetsfunktion ska vara uppfyllda. Om triggernivåerna överskrids utlöses åtgärdsplaner.
- *Implementering och styrning (governance).* Mätdata utvärderas och bedöms och resultatet ger underlag för beslut inom projektet och för dialog med utomstående intressenter.

7.2.2 Värdekedjan

Målanalysen visar att värde skapas hos tre typer av användare av övervakningsprogrammets resultat. Figur 7.2 visar schematiskt värdekedjan för ett program för övervakning i förslutna områden i eller i direkt anslutning till ett slutförvar. Samhällets behov och vår uppfattning om framtida generationers behov antas ge ramen för bedömning av värde.

Figur 7.2 Värdekedja för övervakningsprogram i förslutna områden i eller i direkt anslutning till slutförvar



Den första av två interna användare är *experter och ansvariga för den långsiktiga säkerhetsanalysen*, vilken använts bl.a. för att ta fram trigger-värden. Genom jämförelser med säkerhetsanalysens resultat läggs grunden för beslut om den stegvisa deponeringen och förslutningen. MoDeRn konstaterar:

An obvious pre-requisite for progress is that the information provided by monitoring does not shed doubt on the robustness of the safety case, but rather confirms the basis for long term safety and provides confidence to progress to the next stage/activity. Possible alternative options, however, must also be provided at each step – otherwise there would be nothing to decide (MoDeRn, 2013, s. 15).⁵

Det förväntade utfallet av jämförelsen är att mätdata ligger inom trigger-värdena. Men att detta inte leder till några beslut förefaller vara en förhastad slutsats. En återförsäkring att utvecklingen i

⁵ Svensk översättning: "Ett uppenbart villkor för fortsatt deponering är att informationen från mätprogrammet inte leder till tvivel på att säkerhetsanalysens resultat är robusta, utan i stället bekräftar slutsatsen om förvarets långsiktiga säkerhet och skapar den tilltro till analysen som behövs för att fortsätta till nästa steg/aktivitet. Samtidigt måste det vara möjligt att vid varje steg betrakta andra möjliga utfall – annars skulle det inte finnas någonting att besluta om."

förslutna områden går planenligt är en viktig information till den andra kategorin av användare, nämligen beslutsfattare i *projektledning* och, i förlängningen, hos *den övervakande myndigheten*.⁶

Ett förväntat utfall kan också leda till modifieringar. SKB förutsätter exempelvis i sitt remissvar till Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt att ”framtagande av krav, teknikutveckling och säkerhetsanalys måste ske iterativt” (SKB, 2013, s. 160).

Ett förväntat utfall som möjliggör mindre konservativa antaganden för analysen kunde exempelvis ge möjligheter till uppdaterade, mer effektiva konstruktionsförutsättningar. En sådan utveckling diskuteras också i MoDeRn (2013, s. 55).

MoDeRn (2013) föreslår en åtgärdsskala med fyra steg för att hantera avvikelser från säkerhetsanalysen:

- Ytterligare analys av de förutsättningar och scenarier för långsiktig säkerhet, vilka ligger till grund för förväntad utveckling och bestämning av trigger-värden.
- Utökad övervakning och mätning för att kontrollera/bekräfta mätresultaten.
- Intervention för att reparera.
- Återtag av deponerat kärnbränsle.

MoDeRn (2013) för enbart ett principiellt resonemang om hur dessa fyra steg ska implementeras. I det nya projektet Modern2020 planeras för en omfattande insats för att få fram en samsyn kring åtgärder (se avsnitt 7.4). Allmänt kan man konstatera att de två första stegen inte kräver direkta ingrepp i driften av förvaret. De bör kunna hanteras gemensamt av experter och ansvariga för övervakningssystem och säkerhetsanalys. Steg tre och fyra kommer att kunna kraftigt påverka driften och kommer att kräva beslut högt upp i både projektledningen och myndighetssystemet.

Externa intressenter är en tredje kategori av användare för vilka övervakningssystemet skapar värde. För invånarna i en kommun

⁶ MoDeRn (2012) pekar på att ”Monitoring for (Re)assurance” framkommer som en viktig värdeskapare i intervjuer och diskussioner med medlemmar i MoDeRn:s konsortium. Slutsatsen är att för medlemmarna i konsortiet gäller att: ”monitoring is about seeking confirmation that the facility performs as required and that the basic safety assumptions were correct.” (MoDeRn, 2012, s. 8 och 10–18).

med slutförvar kan kontinuerliga dialoger om mätningar och utfall skapa ökad transparens och bidra till ökad tillit till projektet. För utomstående experter bidrar mätningarna till ökad kunskap och ökad tillit som är viktiga argument vid marknadsföring av slutförvarskonceptet.

Att påstå att transparens, ökad kunskap och marknadsföringsargument skapar värde är naturligtvis okontroversiellt så länge som utfallet från övervakningen är det förväntade. Situationen blir komplicerad om man tvingas kliva upp på åtgärdsstegen. I en sådan situation krävs en villkorslös öppenhet från projektets sida för att behålla övervakningens värde. Det är viktigt att understryka att detta värde ytterst bestäms av samhällets och framtida generationers behov, inte av driftorganisationens behov.

7.3 Exempel på strategier för övervakning

7.3.1 Olika typer av övervakningsstrategier

Det andra steget i MoDeRn:s arbetsprocess tar upp ett övergripande problem vid övervakning i förslutna områden, nämligen hantering av risken för att störa barriärernas säkerhetsfunktioner. En åtgärd för att reducera risken är utveckling av icke-störande mätteknik, inbegripet dataöverföring och energiförsörjning av mätinstrument. Kapitlet "Mätprogram för förslutna områden" i Kunskapslägesrapport 2015 behandlade denna åtgärd. Utveckling av icke-störande teknik kan kombineras med strategiska överläggningar vid utformning av förvaret. Exempelvis kan ett övervakat "miniförvar" ingå i eller byggas i direkt anslutning till slutförvaret. Följande avsnitt ger exempel på val av övervakningsstrategier för att balansera risken att störa barriärerna mot behovet att få mätdata som är representativa för slutförvaret och kan ge underlag för beslut om stegvis deponering och förslutning.

En viktig distinktion är mellan ett "miniförvar" i laboratoriemiljö och ett "miniförvar" ingående i eller i direkt anslutning till slutförvaret. Ett miniförvar i laboratoriemiljö ingår i *FoU-processen* med mål att utveckla och validera säkerhetsanalysen, det kan också ingå i arbetet att utveckla teknik och metoder för övervakning. Ett miniförvar i eller i direkt anslutning till ett slutförvar ingår i den *industriella processen* att bygga och driva ett slutförvar och har

målet att ge underlag för beslut om stegvis deponering och förslutning. Beslutsunderlaget tas fram genom jämförelser mellan mätdata och säkerhetsanalysens krav och resultat. Den industriella processen förutsätter således en validerad säkerhetsanalys.

Mätningar i laboratoriemiljö kan göras *in-situ* med hjälp av sensorer eller *ex-situ* genom mätningar på uttagna prover. Den industriella processen utesluter inte *ex-situ* mätningar, men sådana mätningar i ett miniförvar innebär att förvaret bryts upp och att övervakningen avslutas.

I kapitlet används följande distinktioner för olika typer av strategier för övervakning av förslutna områden: Övervakning med mätprogram kan genomföras i *experimentförvar* (t.ex. Äspö), i *demonstrationsförvar* (t.ex. i delar av ONKALO), i *pilotförvar* (t.ex. enligt Nagras koncept), i *provförvar* och i *hela slutförvaret* (t.ex. som utvecklas av franska Andra). Mätprogrammen kan ha olika syften och innehåll men de strävar alla efter att störa barriärerna så lite som möjligt.

SKB:s *experimentförvar* i Äspö har i huvudsak fungerat som forskningsanläggning för hela KBS-3-metoden i full skala inklusive grundvattenflöden, barriärsystemet och återfyllningen. I Äspö har de grundläggande principerna för KBS-3 utvecklats och testats under förvarsliknande förhållanden dvs. i berget ca 500 m under markytan men utan använt kärnbränsle i kopparkapslarna. Målet har således varit att testa KBS-3-konceptet på systemnivå och avsikten med mätprogrammet har varit att bidra till validering av säkerhetsanalysens modeller. Sett ur perspektivet i MoDeRn:s ”Monitoring workflow” är *experimentförvar* en del i FoU processen och inte exempel på övervakning av den industriella processen att bygga och driva ett slutförvar.

Posivas *demonstrationsförvar* (delar av ONKALO) ligger i det planerade slutförvaret nära Olkiluoto och innebär att KBS-3-metoden kan testas i dess helhet med deponering av kapslar (utan använt kärnbränsle), vattenmätning av buffert och återfyllning (Posiva, 2012). Dessutom utvecklas olika system för övervakning inklusive trådlösa sensorer för presumtiv användning i slutförvaret. Arbetet med *demonstrationsförvaret* följer MoDeRn:s process och kan ses som ett första steg mot övervakning av slutna områden i ett slutförvar med möjlighet att följa hur barriärer utvecklas relativt säkerhetsanalysens krav.

Nagra planerar att konstruera ett *pilotförvar* i Schweiz med radioaktivt avfall i direkt anslutning till slutförvaret, men rumsligt och hydrologiskt separerat. Avfallet, återfyllningen och berget ska övervakas under ca 50 år efter avslutad deponering,⁷ men innan förslutning. Nagra karakteriserar pilotförvar tillsammans med huvudförvar som en ”monitored geological disposal”, dvs. övervakad geologisk förvaring.

Provförvar föreslås som gemensam benämning på ett övervakat miniförvar ingående i eller i direkt anslutning till slutförvaret. Begreppet kan omfatta olika förvar, från övervakning av en eller flera deponerade kapslar till övervakning av hela områden. Nagras pilotförvar kan ses som en form av provförvar. Man kan också tänka sig att erfarenheter från Posivas demonstrationsförvar utnyttjas för att låta en eller flera av de första depositionstunnlarna med aktiva kapslar fungera som övervakade provförvar. Sådana provförvar kan fungera som referenser för de löpande besluten under den stegvisa förslutningen av förvaret.

Andras koncept i Frankrike bygger på direkt och indirekt övervakning av hela slutförvaret. Möjligheter till övervakning ska implementeras i förvarets design och förvaret ska vara reversibelt i mer än 100 år med möjlighet till återtag av avfallet.

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) har i sitt preliminära utlåtande om SKB:s ansökan om slutförvar pekat på behovet av monitorering av grundvattenkemiska parametrar under uppförande- och driftsfas. SSM anser att ytterligare demonstrationer ska genomföras i underjordstunnlar med liknande betingelser som förväntas på platsen för slutförvaret. Demonstrationerna ska omfatta såväl enskilda barriärer som samfunktion av hela barriärsystemet innan eventuell provdrift av slutförvarsanläggningen kan börja. SSM pekar också på behovet av demonstrationstunnlar i förvaret för verifikation av gynnsamma berg- och driftsförhållanden. Dessa krav från SSM betyder att olika typer av mätprogram måste utvecklas något som även Kärnavfallsrådet efterfrågat (Kärnavfallsrådet, 2011, s. 92; 2012b, s. 42).

⁷ Eftersom ENSI föreskriver en fortlöpande återfyllning av deponeringstunnlarna innebär detta att dessa tunnlar är återfyllda vid avslutad deponering. Detta är också vad som förväntas om man följer konceptet stegvis deponering och förslutning (ENSI, 2009, avsnitt 5.2.5).

7.3.2 Posivas strategi för utveckling av mätprogram i slutförvaret

Förutsättningar

De förutsättningar och motiveringar för ett mätprogram som beskrivs av Posiva (2012) i nedanstående textavsnitt gäller för de demonstrationstunnlar och det tilltänkta slutförvar för använt kärnbränsle (ONKALO) som för närvarande uppförs i Olkiluoto. Posiva deltog i det fyraåriga EU-projektet MoDeRn och erfarenheter från det internationella samarbetet inom detta har varit vägledande för utvecklingen av Posivas mätprogram. Posiva har efter beslut i den finska regeringen fått tillstånd att bygga ett slutförvar men ett nytt beslut krävs för att få ta det i drift.⁸ Mätprogram för övervakning av deponerat kärnavfall initierades därför i ett antal deponeringstunnlar för att utforma och demonstrera strategin för långsiktig övervakning av de tekniska barriärerna (Energy Barrier System) vid deponering av använt kärnbränsle i ONKALO.

Fokus ligger på samspelet med säkerhetsanalysen i enlighet med MoDeRn:s arbetsprocess ("MoDeRn Workflow") beskriven i avsnitt 7.2.1. Det finska slutförvarsprogrammet är ett av sju nationella program som kommer att analyseras med avseende på behovet av övervakning i det pågående EU-projektet Modern2020 (se avsnitt 7.4). MoDeRn:s analyssteg ger en lista på parametrar som bör mätas. Denna lista är en utgångspunkt för planering och utformning av mätprogrammet. Genomförandet av mätprogrammet kommer att utnyttja teknikutvecklingen som pågår i Modern2020. Särskilt ska möjligheter att implementera trådlösa mätningar beaktas och hur lokala (t.ex. temperatur, surhetsgrad, vattenmättnad) och mer övergripande (t.ex. tomografi) mätresultat ska kombineras. Ett övergripande krav är att mätprogrammet inte får minska säkerheten med avseende på drift, miljö och förslutning.

Posivas program för övervakning har alltså utformats med fokus på de tekniska och vetenskapliga mätningar som motiveras av långsiktig säkerhet och miljöpåverkan av slutförvaret. Andra

⁸ Statsrådet i Finland, 2015. Arbets- och näringsministeriet. Pressmeddelande 2015-11-12: http://valtioneuvosto.fi/sv/artikeln/-/asset_publisher/posivalle-kaytetyyn-ydinpolttoaineen-loppusijoitusslaitoksen-rakentamislupa (hämtad 2015-12-01).

aspekter som mätprogrammets påverkan på attityder och förtroende hos allmänheten liksom sociala och politiska perspektiv behandlas på annat sätt. Med miljön menas inte bara biosfären utan även förhållanden i berggrunden och i grundvattnet. Upprätthållande av stabila säkerhetsnivåer, försäkringar om operationell och arbetsmässig säkerhet, tekniskt underhåll och arbetsledning kommer också att kräva övervakning men ligger utanför detta program.

Strategi

För att upprätta och genomföra ett övervakningsprogram krävs att man definierar tydliga undersökningsområden som valts med hänsyn till aktuella lagar och förordningar liksom på grund av erfarenheter från tidigare program, även internationella, samt möjligheter och krav på användning av moderna och innovativa mätmetoder.

Posiva har definierat sex specifika undersökningsområden, vilka knyter an till tre av de fyra huvudmålen i MoDeRn:s arbetsprocess (avsnitt 7.2.1), men med tonvikten lagd på förvarets utveckling och förmåga att garantera långsiktig säkerhet:

1. Långsiktig säkerhet. Visa att förhållanden i slutförvarets omgivning förblir långsiktigt säkert, trots byggnation och drift.
2. Återkoppling till karakterisering och modellering av förvaret. Samla mätdata som kan användas för att upprätta och testa olika omgivningsmodeller som ökar kunskapen om förvaret och dess utveckling.
3. Direkt mätning av miljöpåverkan.
4. Återkoppling till förvarets utformning och byggande och dess påverkan på berggrund och markyta.
5. De tekniska barriärerna. Övervakning av de tekniska barriärerna för att säkerställa att de utvecklas som förväntat.
6. Obligatorisk radiologisk övervakning. Genomföra nödvändiga mätningar av strålning och ev. radioaktiva substanser i förvarets omgivning.

Vikten av vart och ett av dessa områden varierar över tid med fokus som växlar mellan ökad förståelse och analys av säkerheten. Driften av slutförvaret är för närvarande projekterad till att börja 2023 efter några år av demonstrationer och tester i full skala och varaktigheten begränsas av den förväntade driftstiden dvs. omkring 100 år. Det har hitintills inte beslutats om mätningar kommer att fortsätta också efter förslutning. Det anses inte möjligt att förutse de tekniska förutsättningar och förordningar som gäller vid förslutning av förvaret och beslutet om eventuell fortsatt övervakning måste tas då.

Det är nödvändigt att fastställa ett antal tydliga målsättningar för mätningar inom programmet. Undersökningsområdena 1 och 5 är nära relaterade till säkerhetsparametrar för berget och utveckling mot ett definierat "idealtillstånd" (eng. target state) för de tekniska barriärerna (Kärnavfallsrådet, 2012a).

De omfattar också huvuddelen av den typ av undersökningar, vilka kommer att kräva mätprogram i förslutna områden. En utgångspunkt för att precisera målsättningar för mätprogrammet är att följa kända processer som påverkar förvarets långsiktiga säkerhet. Därefter kan mätresultaten återkopplas mot tidigare modellering och miljöpåverkan, ge "feed-back" till konstruktörer och byggare samt fastställa eventuella strålningsnivåer. Detta återges i de återstående fyra undersökningsområdena.

Motivering för mätprogram

Posiva beskriver att etableringen av förvaret leder till att stora hålrum i berget fylls med luft av atmosfärstryck och att hydrologin på förvarsdjup påverkas (Posiva, 2012). Det innebär störningar av det naturliga tillståndet hos geosfären och driften (sprängning, borrning, transporter m.m.) ger också upphov till en rad föroreningar som kan påverka förvarsutvecklingen. Inflödet av grundvatten från omgivande berg kommer att pågå under lång tid och strömningsvägar, flödes hastigheter och salthalt kan påverkas och förändras. Luftens innehåll av syrgas (O_2) och koldioxid (CO_2) och möjliga kontakter med ytvatten orsakar karbonatisering (kalkbildning) och oxidation av grundvattnet och tryckminskningen i bergrummet kan leda till att lösta gaser t.ex. metan frigörs. Av-

gasning av berget är också möjlig vilket kan leda till ökande halter av radon (ett problem för inte minst arbetsmiljön) och att vattnet i sprickor och porer i berget kan ersättas med luft. Miljön övergår från att vara reducerande till att bli oxiderande. Dessa och en rad andra processer kan förväntas både i ONKALO och i samband med en eventuell etablering av kommande slutförvar för använt kärnbränsle i Sverige (Kärnavfallsrådet, 2012).

Posiva anser att modellering av förvaret är en viktig användare av mätdata och utgör ett av huvudmotiven för behovet av mätprogram (Posiva, 2012).

Ny information kan leda till ändringar i existerande modeller speciellt för hydrogeologi och geokemi. Mätdata kan användas för att testa giltigheten av existerande modeller för förvaret och ge förutsättningar för att förutsäga dess framtida utveckling. Det gäller t.ex. hur grundvattennivåer kan förändras tillsammans med flödesriktning och sammansättning.

De tekniska barriärerna med hjälpkomponenter består av kopparkapsel, bentonitbuffert, återfyllning av transportunnlar samt pluggar och förseglingar av betong. De är nyckelkomponenter i KBS-3-metoden och motivet för att övervaka detta system är att ge underlag till data för att göra långsiktiga förutsägelser om deras utveckling.

Förväntade processer i och omkring förvaret

Kopparkapseln ska svara för att det använda kärnbränslet behålls totalt isolerat från omgivningen under en så lång period som möjligt. *Bentonitbufferten* ska medverka till att mekaniska, geokemiska och hydrologiska förhållanden är förutsägbara och gynnsamma för kapseln genom att skydda den från externa processer som grundvattenflöden och rörelser i berget. Bufferten ska dessutom försvåra och begränsa transport av radionuklider om kapseln går sönder. *Återfyllning och pluggar* i deponeringstunnlarna ska bidra till att skapa en förutsägbar och gynnsam miljö för kapsel och buffert. De ska också begränsa och försvåra utsläpp av eventuella radionuklider och medverka till mekanisk stabilitet av berget i närheten av tunnlar. *Förslutningen* ska skydda och isolera förvaret från intrång av människor, växter och djur samt skydda övriga

barriärer från flöden av ytvatten t.ex. smältvatten och transport av skadliga ämnen. *Bergets* egenskaper som naturlig barriär vad gäller transport av radionuklider är vägledande för val av plats för slutförvarsanläggningen och det ska isolera förvaret från klimatförändringar på jordytan och försvåra oönskat intrång. Det ska också bevara gynnsamma förhållanden för övriga barriärer.

Posiva presenterar ett antal processer som är relaterade till utvecklingen av de tekniska barriärerna och intern transport av ämnen. Några av processerna är nödvändiga för att uppnå barriärernas "idealtillstånd" t.ex. svällning av bentonit medan andra inte blir aktuella om kraven på barriärerna i övrigt är uppfyllda t.ex. transport av radionuklider. Dessa processer med komplikationer har tidigare diskuterats i en rad rapporter från Kärnavfallsrådet (bl.a. Kärnavfallsrådet, 2012a; 2015).

Byggnadsverksamheten kommer att medverka till att vatten från markytan kommer att tränga ned i berggrummet och transport av bergmassa från sprängningar under jord till ytan leder till lakning av mineral och eventuellt frigörande av naturligt förekommande radionuklider eller andra förorenande ämnen. Alla dessa processer som påverkar ekosystemet kan övervakas med ett mätprogram.

Metoder och gränsvärden

De undersökningsområden (1–6) som redovisats ovan kategoriseras av ett antal specifika ämnesområden som ger en teknisk och vetenskaplig beskrivning av mätprogrammet. De utgör på så sätt en redogörelse av olika mätmetoder och ger ett bättre underlag för att ansätta gränsvärden och upprätta handlingsplaner med anledning av mätresultaten. Sådana ämnesområden är bergmekanik, hydrogeologi, (hydro)geokemi, materialkemi och materialfysik (de tekniska barriärerna, övrigt material) samt yttre miljö.

Mätresultaten inom varje ämnesområde kan beskrivas i form av "bör-värden" och maximala gränsvärden där de senare motsvarar trigger-nivåerna i den metodik som MoDeRn-projektet bygger på och alltså utgör utgångspunkt för en fastställd åtgärdsplan. Det finns ett antal nyckelprocesser som sker både under driftfasen och tiden efter förslutningen av förvaret och som påverkar den långsiktiga säkerheten. Dit hör vattenmätning och svällning av

bentoniten i buffert och återfyllnad. Önskade massförluster kan inträffa genom erosion och kanalbildning i kompakterade block och ringar av bentonit eller genom inträngning i sprickor i omgivande berg. Posiva har fastställt ”bör-värden” för ett antal förväntade processer men ännu saknas gränsvärden för de tekniska barriärerna som innebär att handlingsplaner som beskrivs nedan sätts i verket.

Nedan följer en kort sammanfattning av metodik och erfarenheter från några av de ovan nämnda ämnesområdena i det finska mätprogrammet (Posiva, 2012).

Bergmekanik

Mätprogrammet i bergmekanik omfattar förändringar i berget genom kontinuerliga mikroseismiska mätningar, rörelser av bergblock med GPS samt extensometri i sprängda hålrum. Det är speciellt området närmast tunnelväggarna, den störda zonen (eng. excavation damaged zone), som anses ha den största inverkan på den långsiktiga säkerheten, men detta har samtidigt varit svårt att dokumentera. Man gör nu försök i ONKALO att karakterisera området med en typ av penetrerande radar.

Hydrogeologi

Det har genomförts hydrogeologiska mätningar av grundvattentryck och flöden i många djupa och ytliga borrhål liksom i brunnar och dammar. Den förväntade effekten av byggverksamheten är en minskning av det hydrauliska trycket på djupet, vilket har konstaterats, medan det ytliga grundvattnet inte påverkas särskilt mycket. Ändringar av grundvattenflöden har iakttagits mot de öppna tunnlarna speciellt om inflödet är stort.

Hydro-geokemi

Kemiska processer i berget är extremt långsamma och geokemiska mätningar har fokuserats på hydro-geokemi. Man har funnit förändringar (utspädningar) i det djupa grundvattnet i ONKALO

förmodligen genom inflöde av ytvatten. Några mätningar har visat på ökad salinitet vilket indikerar infiltration av grundvatten med hög salthalt från djupare områden. Några koncentrationstoppar av löst sulfid förekommer när olika typer av grundvatten blandas.

Materialkemi och -fysik

Analys och kontrollmätningar av hur utvecklingen hos de tekniska barriärerna och återfyllningen utvecklas beskrivs här som materialkemi, men omfattar också andra kemiområden tillsammans med materialfysik. Kopparkapseln i demonstrationsförvaret innehåller inte använt kärnbränsle och de viktigaste mätningarna består av temperatur, radiella och axiella spänningar och lägesförändringar. Analys av pH, redox-nivå och karakterisering av ytan (efter nedmontering) är också viktiga. För bentonitbuffert och återfyllning är vattenmätning och svällning avgörande parametrar. De kan följas genom mätning av fukthalt och tryck i olika riktningar. Betongpluggens funktion kan analyseras genom flödesmätning genom och i närheten av pluggen.

Från mätning till åtgärd

Mätprogrammet styrs av en samordningsgrupp med en programkoordinator och ytterligare en koordinator för varje delområde. Koordinatorerna är ansvariga för planering och övervakning av aktiviteterna, kontroll och dokumentation av mätdata och att rapportera resultaten. Data sparas i Posivas elektroniska databas. Mätresultaten för varje ämnesområde publiceras årligen i en särskild rapportserie och resultaten jämförs och kombineras för att förstå helheten och integreras i en övergripande modell för förvaret.

Om mätresultaten indikerar en avvikelse från förväntade värden eller förväntad utveckling måste detta omedelbart rapporteras till ansvariga personer inom områden som design, byggande, modellering och säkerhetsanalys. Om de alarmerande resultaten har verifierats avgörs det fortsatta agerandet av ONKALO Construction and Research Group (ORT) eller om konsekvenserna i form av kostnader och ändring av tidsplanen blir mycket stora av

ONKALO Supervision Group (OVA). Det fortsatta förfarandet beror på i vilket skede slutförvaret befinner sig. Om oacceptabla förhållande uppmäts i ett begränsat område i berget avbryts deponering av kapslar där. Om det gäller en stor bergvolym kan planerna på ett slutförvar förändras eller också kan kraven förändras. En förändring av kraven måste dock godkännas av en säkerhetsanalys.

Om kapslar redan har deponerats i ett område som inte uppfyller kraven måste konsekvenserna för hela deponeringskonceptet bestämmas. Det måste fastställas om mer gynnsamma förhållanden kan återupprättas och hur effektivt detta kan ske med aspekt på den långsiktiga säkerheten. Om upprättande av gynnsamma förhållanden inte kan ske avgörs det fortsatta förfarandet genom att jämföra riskerna för ett återtagande av kapslarna med att lämna dem kvar.

7.3.3 Nagra: Övervakad geologisk förvaring i pilotförvar

Ramvillkor – utformning av slutförvar

Schweiziska Nagra⁹ har liknande uppgifter som svenska SKB, dvs. att planera och genomföra långsiktigt säker slutförvaring av radioaktivt avfall. Organisationen planerar för två typer av slutförvar, ett för låg- och kortlivat medelaktivt avfall och ett för använt kärnbränsle, högaktivt avfall från upparbetning och långlivat medelaktivt avfall. Vi koncentrerar oss här på den andra typen av slutförvar och speciellt på slutförvaring av använt kärnbränsle och högaktivt, förglasat (vitrifierat) avfall från upparbetning av kärnbränsle vilket betecknas SF/HLW.

Baserat på 50 års drift av kärnkraftverken blir mängden avfall:

- Omkring 1600 kapslar med använt bränsle (SF) motsvarande 2435 ton uran.
- 730 kapslar med förglasat högaktivt avfall från upparbetning (HLW).

⁹ Nagra står för Nationale Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver Abfälle.

Antalet kapslar motsvarar drygt en tredjedel av det antal som beräknas deponeras i det svenska slutförvaret för använt kärnbränsle.

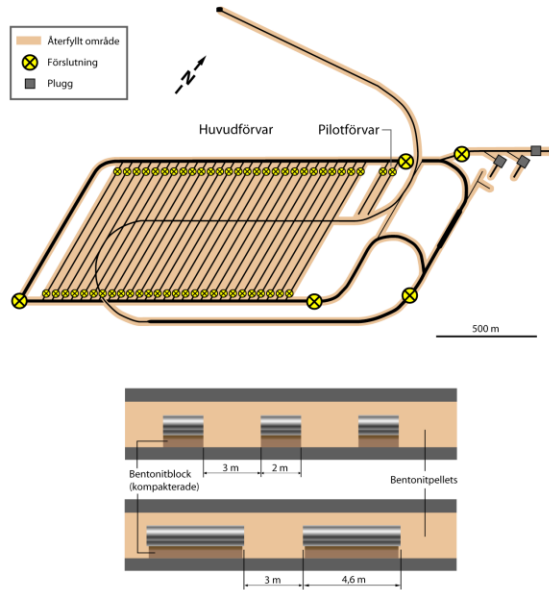
Den schweiziska kärnenergilagen (KEG 2003) och kärnenergiförordningen (KEV 2004) ger de allmänna kraven på slutförvaret inklusive pilotförvar och övervakning. Föreskrifterna från kärnsäkerhetsinspektoratet, ENSI¹⁰ specificerar de detaljerade kraven som huvudförvar och pilotförvar måste uppfylla (ENSI, 2009). Nagra karakteriserar slutförvarskonceptet som ”övervakad geologisk förvaring” (Monitored Geological Disposal), ett uttryck som också användes av den expertgrupp som förberedde kärnenergilagen (Hufschmied m.fl. 2002). Enligt Nagras rapport till MoDeRn ska slutförvaret kombinera: ”passive safety with a period of monitoring and the possibility of retrievability without excessive effort during the emplacement and observation period until final closure of the repository” (MoDeRn 2010, s. 56).

Figur 7.3 visar en principskiss över förvaret, vilket antas placerat på ett djup av 600 till 900 m i sedimentärt berg (Opalinus Clay). Den nedre delen av bilden visar placeringen i deponeringstunnlarna av kapslarna med förglasat avfall från uppärbetning och med använt kärnbränsle. Kapslarna vilar horisontellt på block av förkompakterad bentonit och området mellan kapslar och berg återfylls med betonitpellets. ENSI (2009) föreskriver kontinuerlig deponering och förslutning av deponeringstunnlarna. Pilotförvaret ligger vid sidan av huvudförvaret, rumsligt skilt från detta men i anslutning till huvudförvaret. Enligt skissen ligger pilot- och huvudförvar bakom samma försegling när deponeringen är klar. Deponeringstunnlarna är inklusive försegling ca 800 m, medan tunnlarerna i pilotförvaret är betydligt kortare.

Användningen av bentonit för tekniska barriärer aktualiserar liknande frågor om vattenmättnad som i KBS-3-fallet. Kapitlet ”Mätprogram för förslutna områden” i kunskapslägesrapporten från 2015 redogör för samarbete med ETH Zürich för att utveckla seismisk mätteknik. Med sådan teknik skulle det bli möjligt att följa vattenmättnaden i bentoniten utan att störa barriärfunktionerna.

¹⁰ ENSI står för Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat.

Figur 7.3 Principskiss över Nagras planerade slutförvar för använt kärnbränsle och förglasat avfall från uppberetning



Den nedre bilden visar placeringen i deponeringstunnlarna av kapslar med förglasat avfall (övre tunnel) och använt kärnbränsle (nedre tunnel)

Källa: Figuren bygger på (MoDeRn, 2010, sid. 60).

Pilotförvaret

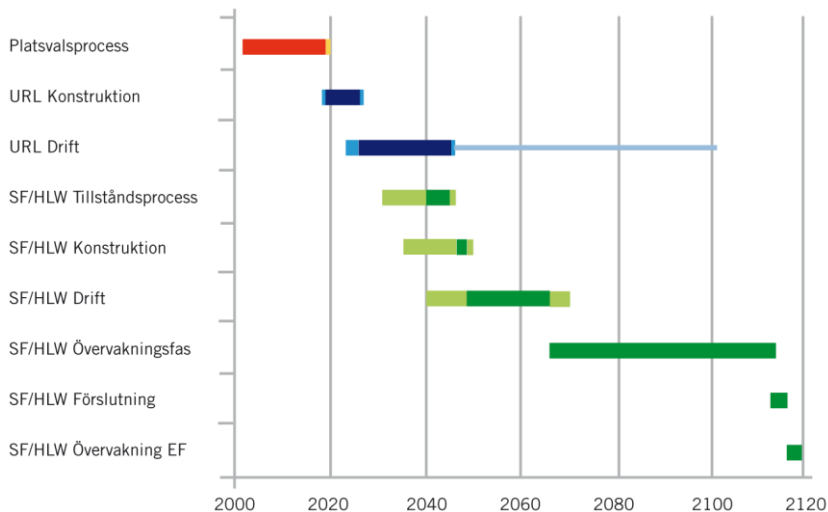
Den schweiziska kärnenergilagen (KEG 2003) föreskriver en längre övervakningsfas (Beobachtungsphase¹¹) efter avslutad deponering men före slutlig förslutning. För denna fas måste ägarna av förvaret redovisa ett projekt för genomförande av övervakning och visa hur det deponerade avfallet utan större resurser ("ohne grossen Aufwand") kan återtas. Kärnenergiförordningen (KEV 2004, Art. 66) föreskriver konstruktion av ett pilotförvar för att uppfylla lagens krav. De geologiska och hydrologiska förhållandena i pilotförvaret ska vara jämförbara ("vergleichbar") med dem i huvudförvaret, men pilotförvaret ska vara rumsligt och hydrologiskt skiljt från huvudförvaret. Byggsätt och deponering ska vara desamma och pilotförvaret ska innehålla en representativ mindre mängd av avfall. Övervakningen ska stärka bevisen för att förvaret uppfyller kraven på långsiktig säkerhet.¹²

Varken lagstiftarna eller kärnsäkerhetsinspektoratet specificerar längden av övervakningsfasen. Figur 7.4 visar att Nagras egen tidsplan för slutförvaret för SF/HLW föreslår en 50-årig övervakningsfas med början omkring 2065 och slut 2115. Enligt lagen ska den schweiziska regeringen bestämma start och längd av övervakningsfasen.

¹¹ Definition av övervakningsfasen: "Beobachtungsphase: längerer Zeitraum, während dessen ein geologisches Tiefenlager vor dem Verschluss überwacht wird und die radioaktiven Abfälle ohne grossen Aufwand zurückgeholt werden können" (KEG 2003, art. 3).

¹² „Bei der Überwachung sind im Hinblick auf den Verschluss Daten zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises zu ermitteln“ (KEV 2003, art. 66).

Figur 7.4 Nagra tidsplan för slutförvaring av använt kärnbränsle och förglasat avfall från upparbetning (SF/HLW)



Respektive ljusare färgnyanser markerar osäkerheten i tidsplaneringen.

URL: Underjordiskt bergslaboratorium. EF: Efter förslutning

Källa: Nagra (2009)

Kraven på övervakning i ett pilotförvar fram till slutlig förslutning för att säkerställa långsiktig säkerhet har alltså ett ovillkorligt stöd i den schweiziska lagstiftningen. Kärnsäkerhetsinspektoratets föreskrifter ställer mer detaljerade krav på pilotförvaret och övervakningsprogrammet (ENSI, 2009, avsnitt 5.2.2).

Deponering av kapslar och återfyllning måste vara klart i pilotförvaret innan deponeringen får påbörjas i huvudförvaret. Förordningens allmänna krav på liknande geologiska och hydrologiska förhållande, utformning och deponering i pilot- och huvudförvar specificeras nu till krav på pilotförvarets drift. Denna drift ska ordnas så att:

- a) Barriärsystemet i huvudförvaret reproduceras tillräckligt väl ("adäquat").
- b) Urvalet av avfallspaket är representativt för huvudförvarets inventarium.

ENSI (2009) förtydligar målet för övervakningen. Övervakningsprogrammet ska mäta utvecklingen i tiden av pilotförvaret och dess geologiska omgivning så att det ger möjlighet att bedöma:

- a) tillstånd och processer av betydelse för säkerheten i pilotförvaret och dess geologiska omgivning
- b) oväntade utvecklingar på ett tidigt stadium
- c) barriärernas effektivitet
- d) för att stödja prövningen av den långsiktiga säkerheten ("zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises").

ENSI (2009) ger också möjlighet att efter avslutad övervakningsfas återta avfallet i pilotförvaret och deponera detta i huvudförvaret. Detta kan göras om oförutsedda händelser eller planerade ingrepp har skadat barriärsystemet och det inte finns någon möjlighet att reparera detta system.

Nagra publicerade sitt FoU-program för slutförvarsprocessen 2009 (Nagra, 2009) och avsikten är att en uppdatering av programmet ska publiceras under hösten 2015. Denna uppdatering har inte varit tillgänglig när detta kapitel skrevs.

Sammanfattande reflektioner över Nagra's strategi

Konceptet med övervakad geologisk deponering realiserat genom ett pilotförvar med övervakade barriärer är förankrat i den schweiziska lagstiftningen. Nagra (2009) diskuterar parametrar som ska mätas. Enligt Nagra's egen tidsplan ska konstruktionen av förvaret inte påbörjas förrän omkring 2040, så det finns tid för de omfattande analyser som krävs enligt den senare delen av MoDeRn:s arbetsprocess. Schweiz är ett av de sju länder, vilka inom ramen för Modern2020 ska genomföra analys av de nationella övervakningsprogrammen. Modern2020 avser utveckla en samsyn ("collective opinion") vad beträffar beslut om åtgärder som resultat av mätningar genomförda inom övervakningsprogrammet. En sådan samsyn bör vara ett stöd i den fortsatta arbetsprocessen.

En övervakningsstrategi uppbyggd kring ett provförvar eller pilotförvar reser flera frågor. Följande tre iakttagelser är ett första försök att identifiera några relevanta frågeställningar:

- *Representativitet.* En förutsättning för att pilotförvaret ska ge pålitliga beslutsunderlag är att relevanta FEPs och kopplingarna mellan dessa är desamma i pilot- och huvudförvar. Här krävs ett omfattande förberedande arbete inklusive mätningar för att verifiera detta.
- *Validering av säkerhetsanalysen.* Nagra understryker i sin rapport till MoDeRn-projektet (MoDeRn, 2010, s. 61–62) att de tolkar innebörden i ENSI:s föreskrifter så att målet för övervakningsprogrammet är att pröva förvarets långsiktiga säkerhet mot säkerhetsanalysen, inte att fortsätta och validera säkerhetsanalysens modeller. Detta är helt i enlighet med diskussionen i avsnitt 7.2 ovan. Allmänt kan man säga att övervakningsprogrammet ställer extrema krav på tidigare validering av säkerhetsanalysen. Om tvivel uppstår kring säkerhetsanalysens riktighet under övervakningsfasen kan detta skapa kris för hela slutförvarsprocessen.
- *Kompetens.* ENSI:s föreskrifter tillåter överföring av kapslar från pilotförvar till huvudförvar efter övervakningsfasens slut. Detta ger projektledningen möjlighet att hantera risken för att övervakningen stör barriärsystemet, men reser samtidigt frågan om tillgänglig kompetens. En överföring skulle ske 50 år efter deponeringen slutförts i huvudförvaret. Detta kräver att en organisation både hos Nagra och hos ENSI, eller dess efterföljare, som kan garantera att den nödvändiga kompetensen för deponering finns vid slutet av övervakningsfasen.

7.4 Planerad fortsatt utveckling inom EU: Modern2020

Samarbetet om övervakningssystem mellan europeiska nationella organisationer med ansvar för slutförvaring fortsätter i ett nytt EU projekt, Modern2020.¹³ Projektet beskrivs också som en del i

¹³ <http://www.igdtp.eu/index.php/european-projects/modern2020>(hämtad 2015-12-01).

verksamheten inom EU:s teknologiska plattform för geologiskt slutförvar, IGD-TP (Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform).¹⁴ Projektets fullständiga namn är "Development and Demonstration of monitoring strategies and technologies for geological disposal".

28 organisationer från nio EU stater och från Schweiz och Japan ingår i Modern2020 konsortiet. Projektet startade den 1 juni 2015 och kommer att pågå i fyra år. Projektet omfattar mer än 600 arbetsmånader fördelat på sex stycken arbetsprogram (Work Programs, WP).

Kapitlet "Mätprogram för förslutna områden" i Kunskapslägesrapport 2015 beskrev teknikutvecklingen för sensorer och trådlös överföring av data. Denna teknikutveckling kommer att fortsätta i Modern2020 kompletterad med utveckling av alternativa energikällor. Både ny teknik och övervakningsstrategier kommer att demonstreras i full skala i förvarsmiljö. Arbetsprogrammet kallas "Demonstration of monitoring implementation at repository like conditions" och tester kommer att göras i Finland, Schweiz och Frankrike. Det finska "Full scale in-situ System Test, Finland" genomförs i ONKALO av Posiva, VTT och SKB och baseras på arbetet med demonstrationsförvaret beskrivet i avsnitt 7.3.2. Nagra genomför "The Full-Scale Emplacement (FE) Experiment" i ett berglaboratorium i Mont Terri.

Metodikerna för övervakningsstrategier och beslutsfattande utvecklas i ett arbetsprogram (WP2), som leds av SKB. Utvecklingsarbetet är indelat i tre arbetsuppgifter (Tasks), som motsvarar de tre stegen i MoDeRn:s arbetsprocess beskriven i avsnitt 7.2.1.¹⁵

Förutom att leda hela arbetsprogrammet kommer SKB dessutom att leda den mest arbetstyngda uppgiften motsvarande steg 2 i MoDeRn:s arbetsprocess. SKB har kraftigt ökat sitt engagemang i Modern2020 jämfört med MoDeRn. Utgångspunkt för arbetet är analys av sju olika nationella program och en viktig uppgift för arbetsprogrammet är att utveckla en samsyn beträffande åtgärdsplanering: "to develop collective opinions on performance measures and response planning" (Modern2020 ansökan del B, s. 29).

¹⁴ <http://www.igdtp.eu/index.php/presentation> (hämtad 2015-12-01).

¹⁵ De tre arbetsuppgifterna är: "Decision-making Requirements, Monitoring Strategies and Approaches to Screening the Preliminary Parameter List", "Screening Test Cases", "Decision Making, Performance Measures and Response Planning".

Transparens och dialog med medborgare i området kring slutförvaret har en viktig roll i Modern2020. Avsikten är att dialogen ska starta tidigt i slutförvarsprocessen och uppgiften är att studera övervakningsprogrammets roll i dialogen och för skapande av transparens. Lokala intressenter ska få möjligheter att följa arbetet i både de strategiska och tekniska arbetsprogrammen. Arbetsprogrammet leds av Antwerpens Universitet med deltagande av bl.a. Sociologiska Institutionen vid Göteborgs Universitet, som också leder en av arbetsuppgifterna.

Kärnavfallsrådet avser att följa utvecklingen av arbetet inom Modern2020.

7.5 Sammanfattande diskussion

Strategier för mätprogram har utvecklats till ett viktigt samarbetsområde för organisationer involverade i slutförvar för använt kärnbränsle och högaktivt avfall. Utvecklingen har gått från ett EU Tematiskt Nätverk under åren 2001–2004 (European Commission, 2004) till de omfattande projekten MoDeRn 2009–2013 och Modern2020 som pågår 2015–2019. Från svensk sida har SKB deltagit i denna utveckling. Företaget har ett starkt engagemang i det pågående projektet Modern2020.

Två faktorer har drivit på intresset för övervakning, dels behovet av beslutsunderlag i en stegvis deponering och förslutning av förvaret, dels behovet av förtroende för slutförvarsprocessen hos olika intressenter. Från svensk sida är sociologiska institutionen vid Göteborgs universitet starkt engagerad i studier av den senare faktorn genom deltagande i projekten MoDeRn och Modern2020.

Ytterligare två faktorer har drivit på utvecklingen mot internationellt samarbete för att möta behoven av beslutsunderlag och förtroende. Övervakning i förslutna områden kräver en omfattande teknikutveckling, vilket kräver ekonomiska resurser och tillgång till speciella faciliteter, exempelvis underjordisk berglaboratorium för att simulera miljön i ett förvar. Internationellt samarbete är ett naturligt svar för att hantera kostnader och utrustning. Den andra faktorn gäller hantering av risken för konflikt med paradigmet om passiv långsiktig säkerhet. Paradigmet om passiv säkerhet utgör själva kärnan i geologiskt slutförvar och det finns ett gemensamt

intresse för de nationella organisationer, som ansvarar för slutförvarsprocessen att utveckla en samsyn på riskhanteringen.

Det finns *två perspektiv* på riskhanteringen. Det *första* är tekniskt och strategiskt. Risken för att störa barriärerna kan reduceras genom utveckling och utnyttjande av icke-störande teknik. Val av övervakningsstrategier utgör den andra försvarslinjen. Exempel är Posivas demonstrationsförvar och Nagras pilotförvar. Posivas strategi kan utvecklas i riktning mot provförvar, där ett eller flera av tidiga deponeringstunnlar förses med mätutrustning. Idén bakom demonstrations-, pilot- eller provförvar är att risk att störa barriärfunktionerna endast uppstår i ett miniförvar, som kan ingå i eller konstrueras i direkt anslutning till slutförvaret. Svårigheten med dessa övervakningsstrategier är att visa att mätresultaten från miniförvaret är representativa för slutförvaret och utgör ett effektivt och legitimt beslutsunderlag för fortsatt stegvis deponering och förslutning. Frågan om representativitet återstår att belysa och lösa exempelvis i Modern2020.

Det *andra* perspektivet på relationen övervakning och passiv säkerhet gäller förtroende. Å ena sidan är att skapa förtroende ett av de övergripande målen för övervakning i förslutna områden. Å andra sidan kan en extern intressent ställa frågan vilket förtroende för den passiva säkerheten som finns internt inom projektet. Varför övervaka förslutna områden om man är säker på att de kontroller och analyser man gör innan och under deponeringen garanterar långsiktigt säker förvaring? Frågan visar på vikten att klargöra att övervakningen är en återförsäkring om att bergkarakteristik och deponering är korrekt gjorda. Avsikten med övervakningen är inte att validera säkerhetsanalysen. En allvarlig förtroendekris kan emellertid uppkomma om mätresultat avviker från de förväntade och tvingar fram reparationer eller återtåg. Enda sättet att undvika en sådan förtroendekris är en kontinuerlig och uppriktig dialog med externa intressenter under hela slutförvarsprocessen. Ett tydligt angivet mål för Modern2020 är att finna formerna för en sådan dialog.

Diskussionen om strategier för mätprogram aktualiserar frågor som Kärnavfallsrådet tidigare har tagit upp i yttranden över SKB:s Fud-program Kärnavfallsrådet, 2011; 2014) och i rådets kunskapslägesrapporter bl.a. gällande organisation av industriprojektet och relationen mellan säkerhetsanalysen och bygg- och driftprocessen

och osäkerheter i kostnadsuppskattningar (Kärnavfallsrådet, 2010; 2012; 2013 och 2015).

Referenser

- ENSI. 2009. *Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen.* ENSI-G03. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI). Villigen, Switzerland.
- European Commission. 2004. *Thematic Network on the Role of Monitoring in a Phased Approach to Geological Disposal of Radioactive Waste.* Final Report. European Commission. EUR 21025 EN 2004.
- Hufschmied, P., Wildi, W., Aebersold, M., Appel, D., Buser, M., Dermange, F., Eckhardt, A. och Keusen, H.R. 2002. "Monitored long-term geological disposal – A new approach to the disposal of radioactive waste in Switzerland." *Transact. European Nuclear Conference*, Europ. Nuc. Soc., Bruxelles.
- KEG (2003): Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 (KEG) [Nuclear Energy Act]. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1, Switzerland.
- KEV (2004), Kernenergieverordnung von 10. Dezember 2004. Se: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20042217/index.html> (hämtad 2015-12-01).
- Kärnavfallsrådet. 2015. "Mätprogram för förslutna områden", Kapitel 6 i SOU 2015:11 *Kunskapsläget på Kärnavfallsområdet 2015 – Kontroll, dokumentation och finansiering för ökad säkerhet.* Stockholm: Fritzes.
- Kärnavfallsrådet. 2014. SOU 2014:42 *Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2013.* Stockholm: Fritzes.
- Kärnavfallsrådet. 2013. SOU 2013:11 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2013. Slutförvarsansökan under prövning: kompletteringskrav och framtidsalternativ.* Stockholm: Fritzes.
- Kärnavfallsrådet. 2012a. "Från initialtillstånd till idealtillstånd i slutförvaret för använt kärnbränsle." Kapitel 3 i SOU 2012:7

- Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2012 – långsiktig säkerhet, haverier och global utblick.* Stockholm: Fritzes.
- Kärnavfallsrådet. 2012b. *Kärnavfallsrådets synpunkter på behov av kompletteringar av ansökan för tillstånd till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall (M 1333-11).* (Dnr 43/2012).
- Kärnavfallsrådet. 2011. SOU 2011:50 *Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2010.* Stockholm: Fritzes.
- Kärnavfallsrådet. 2010. SOU 2010:6 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2010 – utmaningar för slutförvarsprogrammet.* Stockholm: Fritzes.
- MoDeRn. 2013. Monitoring Reference Framework report.
MoDeRn Deliverable D-1.2.
Se: www.modern-fp7.eu/fileadmin/modern/docs/Deliverables/MoDeRn_D1.2_MoDeRn_MonitoringReferenceFrameworkReport.pdf.
- MoDeRn. 2012. Monitoring the Safe Disposal of Radioactive Waste: a Combined Technical and Socio-Political Activity.
MoDeRn Deliverable D1.3.1.
Se: www.modern-fp7.eu/fileadmin/modern/docs/Deliverables/MoDeRn_D1.3.1_Basis_for_Stakeholder_info.pdf
- MoDeRn. 2010. National Monitoring Contexts Country Annexes.
MoDeRn Deliverable 1.1.2.
Se: www.modern-fp7.eu/fileadmin/modern/docs/Reports/MoDeRn_MonitoringContext_CountryAnnexes.pdf
- Nagra. 2009. *The Nagra Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Disposal of Radioactive Waste in Switzerland.* Technical Report 09-06 (November 2009). Nagra, Wettingen. Switzerland.
- NEA. 2011. *Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-Level Radioactive Waste and Spent Fuel – Final Report of the NEA R&R Project (2007-2011).* Report No. NEA/RWM/R(2011)4.
- Posiva. 2012. *Monitoring at Olkiluoto – a Programme for the Period before Repository Operation.* Posiva 2012-01.

SKB. 2013. Ansökan enligt miljöbalken – komplettering II – april 2013. Bilaga K:3 ”Frågor och svar per remissinstans.”
Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB.

Statens offentliga utredningar 2016

Kronologisk förteckning

1. Statens bredbandsinfrastruktur som resurs. N.
2. Effektiv vård. S.
3. Höghastighetsjärnvägens finansiering och kommersiella förutsättningar. N.
4. Politisk information i skolan – ett led i demokratiuppdraget. U.
5. Låt fler forma framtiden!
Del A + B. Ku.
6. Framtid sökes –
Slutredovisning från
den nationella samordnaren
för utsatta EU-medborgare. S.
7. Integritet och straffskydd. Ju.
8. Ytterligare åtgärder mot penningtvätt och finansiering av terrorism. Fjärde penningtvättsdirektivet – samordning – ny penningtvättslag – m.m.
Del 1 + 2. Fi.
9. Plats för nyanlända i fler skolor. U.
10. EU på hemmaplan. Ku.
11. Olika vägar till föräldraskap. Ju.
12. Ökade möjligheter till modersmålsundervisning och studiehandledning på modersmål. U.
13. Palett för ett stärkt civilsamhälle. Ku.
14. En översyn av tobakslagen. Nya steg mot ett minskat tobaksbruk. S.
15. Arbetsklausuler och sociala hänsyn i offentlig upphandling – ILO:s konvention nr 94 samt en internationell jämförelse. Fi.
16. Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2016. Risker, osäkerheter och framtidsutmaningar. M.

Statens offentliga utredningar 2016

Systematisk förteckning

Finansdepartementet

Ytterligare åtgärder mot penningtvätt och finansiering av terrorism. Fjärde penningtvättsdirektivet – samordning – ny penningtvättslag – m.m. Del 1 + 2. [8]

Arbetsklausuler och sociala hänsyn i offentlig upphandling – ILO:s konvention nr 94 samt en internationell jämförelse. [15]

Justitiedepartementet

Integritet och straffskydd. [7]

Olika vägar till föräldraskap. [11]

Kulturdepartementet

Låt fler forma framtiden! Del A + B. [5]

EU på hemmaplan. [10]

Palett för ett stärkt civilsamhälle. [13]

Miljö- och energidepartementet

Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2016. Risker, osäkerheter och framtidsutmaningar. [16]

Näringsdepartementet

Statens bredbandsinfrastruktur som resurs. [1]

Höghastighetsjärnvägens finansiering och kommersiella förutsättningar. [3]

Socialdepartementet

Effektiv vård. [2]

Framtid sökes – Slutredovisning från den nationella samordnaren för utsatta EU-medborgare. [6]

En översyn av tobakslagen. Nya steg mot ett minskat tobaksbruk. [14]

Utbildningsdepartementet

Politisk information i skolan – ett led i demokratiuppdraget. [4]

Plats för nyanlända i fler skolor. [9]

Ökade möjligheter till modersmålsundervisning och studiehandledning på modersmål. [12]