

Del III Kärnavfallsfrågan och framtiden

8 Transmutation – ett alternativ till slutförvaring. En uppmärksammas fråga

8.1 Inledning

Inom forskarkretsar har man under flera decennier diskuterat möjligheten att radikalt minska farligheten hos det använda kärnbränslet genom en metod kallad transmutation. Metoden innefattar komplicerade vetenskapliga och tekniska frågor. Hur har en sådan fråga kunnat bli så uppmärksammas också av politiker och allmänheten?

Kärntekniklagen kräver att den som har tillstånd till kärnteknisk verksamhet skall svara för att de åtgärder vidtas som behövs för att på ett säkert sätt hantera och slutförvara kärnavfall som uppkommer i verksamheten. Den svenska strategin för hanteringen av använt kärnbränsle är att detta skall direktdeponeras. Huvudinsatserna på området riktas därför mot att utveckla och bygga ett geologiskt slutförvar, där det använda kärnbränslet kan hållas isolerat från biosfären (människors och annat levandes miljö) under hundratusentals år, dvs. till dess farligheten har klingat av. Detta är grunden till det svenska s.k. KBS-3 konceptet.

Redan tidigt i utvecklingsprocessen för slutförvaring stod det klart att alternativ behövs om KBS-3 konceptet av någon anledning inte skulle kunna genomföras. Regeringen har i sina beslut om SKB:s forskningsprogram fastslagit att utvecklingsarbete skall ske för transmutation, som en möjlig alternativ lösning. Miljöbalken kräver dessutom uttryckligen att alternativa metoder skall utredas och redovisas i miljökonsekvensbeskrivningen,

som ska höra till ansökan om tillstånd enligt miljöbalken och kärntekniklagen.

Remissinstanser till SKB:s forskningsprogram (myndigheter, kommuner, universitet och högskolor, miljöorganisationer m.fl.) har varit eniga om att det krävs att SKB studerar alternativ till KBS-3. De skäl som framförts för detta är både formella (t.ex. krav på alternativredovisning enligt miljöbalken) och allmänna uttryck för osäkerhet om att KBS-3-metoden kommer att kunna genomföras. Detaljer och sättet att argumentera skiljer sig men slutsatsen är dock att SKB måste redovisa alternativ till KBS-3 och att transmutation här ses som ett av dem.

Transmutation, som ju betyder omvandling, skulle i sin mest perfekta form innebära att man helt eliminerar de delar av bränslet som är radioaktiva under mycket lång tid. Tekniken som krävs för att tillämpa metoden har genom forskarinsatser på senare år utvecklats inom flera väsentliga områden. Dock återstår fortfarande omfattande tekniska problem att lösa, vilka har genererat forskningsprogram inom EU och i USA, Ryssland, Japan, Korea m.fl. nationer men också nationella program i flera europeiska länder. Tekniken måste också testas i alla dess delar i demonstrationsanläggningar innan driftegenskaper, säkerhetsfrågor, ekonomi m.m. kan bedömas.

Om man är framgångsrik räknar man med att få en hundra-faldig reduktion av volymen och av strålningsfarligheten hos det resterande bränslet, som efter behandling skulle avklinga till en ofarlig strålningsnivå på 500–1 000 år. En liten del av mycket långlivade ämnen (några tiondels procent av samma långlivade ämnen som i det använda kärnbränslet) måste deponeras i ett slutförvar beroende på att separationen av de olika ämnena inte kan göras fullt ut. Ett sådant slutförvar blir väsentligt mindre och behöver inte fungera under alls lika lång tid som ett förvar med direktdeponerat använt kärnbränsle.

Transmutation har förespråkare även bland grupper och individer som motsätter sig slutförvaring av använt kärnbränsle. I en del skildringar framställs transmutation, som ett sätt att helt bli kvitt ett farligt avfall i nutid. Så förhåller det sig alltså inte.

I den svenska diskussionen om transmutation har de tekniska och andra problem, som är förknippade med separation av ämnen i det använda kärnbränslet, stått i bakgrunden. Det är också väl känt att utsläppen till omgivningen kan bli betydande i samband med den typ av separationsprocesser som krävs i samband med transmutationen.

Transmutationstekniken förutsätter en fortsatt kärnteknisk verksamhet med stor bredd i Sverige. Vid de utvärderingar, som gjorts i USA och EU av transmutationstekniken, räknar man med att det krävs 20 till 30 år för att realisera tekniken, dvs. det krävs uthålliga forsknings- och utvecklingsprogram.

I avsnitt 8.2 ges en beskrivning av vad transmutation är och vilka typer av anläggningar som krävs för att genomföra processen. I avsnitt 8.3 sammanfattas kunskapsläget rörande transmutation och i avsnitt 8.4 finns en översikt över pågående och planerad forskning internationellt. Tre scenarier ges i avsnitt 8.5 om vad tekniken skulle innebära för svenskt vidkommande. I avsnitt 8.6 slutligen sammanfattas hela kapitlet. Läsningen av avsnitt 8.5 och 8.6 förutsätter inte avsnitt 8.3 och 8.4. Man kan alltså gå direkt från 8.2 till 8.5 om man så önskar.

8.2 Grundläggande principer för transmutation

Självklart vore det av stort värde om man på något sätt kunde behandla det använda kärnbränslet så att den långlivade radioaktiviteten kunde "oskadliggöras". Mycket vore därför vunnet om de radioaktiva ämnen som har lång halveringstid – vad gäller både klyvningsprodukter och transuraner (ämnen som är tyngre än uran) – kunde omvandlas till kortlivade eller stabila isotoper av olika grundämnen. Då skulle den mängd radioaktivitet, som behöver placeras i ett slutförvar, kunna minskas radikalt liksom längden på den tidsperiod, som slutförvaret måste klara av att innesluta materialet.

För att förstå vad som menas med transmutation måste man först veta vad det använda bränslet innehåller.

8.2.1 Bränslet i reaktorhärden

Uranbränsle

Alla kärnkraftreaktorer i Sverige är av s.k. lättvattentyp. Tre av aggregaten i Ringhals är tryckvattenreaktorer (PWR) medan övriga åtta svenska reaktorer är kokarreaktorer (BWR).

Uran i den form som det förekommer i naturen (naturligt uran) duger inte som bränsle i lättvattenreaktorer. Halten av klyvbart, och därigenom energialstrande, uran-235 i naturligt uran är endast ca 0,7 % och resten är till helt dominerande del uran-238, som inte är klyvbart i en lättvattenreaktor.

Bränslet i de svenska reaktorerna är därför *anriktat*, dvs. man har i en anrikningsanläggning (utomlands) ökat andelen uran-235 i uranet. Restprodukten av denna process blir uran med lägre halt än den hos naturligt uran, s.k. utarmat uran.

I Sverige finns sedan länge en fabrik i Västerås för tillverkning av bränsle till våra svenska kärnkraftverk och även till en del utländska sådana. Tillverkningen bygger där på anriktat uran som köps in från utlandet.

Nytt anriktat bränsle för en lättvattenreaktor har vid inplacementen i reaktorn en uran-235-halt på ca tre procent. Bränslet tillbringas tre till fem år i reaktorhärden, ofta med omflyttning till några olika positioner i härden. Under denna tid förbrukas ungefär två tredjedelar av det uran-235 som fanns i bränslet när det först sattes in och bränslet är därefter inte längre lämpligt för fortsatt användning i härden. Det avlägsnas därför ur reaktorn och förs över först till en lagringsbassäng för använt bränsle vid kärnkraftverket och – efter något års avsvälning – via fartyget Sigyn till CLAB, det centrala mellanlagret för använt kärnbränsle i Simpevarp, i Oskarshamns kommun.

MOX-bränsle

Som ett alternativ till anrikat uran kan man även använda plutoniumberikat bränsle. Klyvbart plutonium-239 bildas i reaktorbränsle när neutroner fångas in av icke klyvbart uran-238. Vid *upparbetning* av använt kärnbränsle kan det bildade plutoniet separeras ut på kemisk väg. Plutoniet kan därefter blandas med naturligt eller utarmat uran för framställning av nytt reaktorbränsle, s.k. blandoxidbränsle (Mixed Oxide Fuel, MOX). Typiskt innehåller nytt MOX-bränsle tre till fyra procent plutonium-239 och även i detta fall förbrukas ungefär två tredjedelar av det klyvbara materialet innan bränslet tas ut ur härden. Det använda MOX-bränslet kan på nytt upparbetas men efterhand ökar halten av tyngre plutoniumisotoper (tyngre än 239), vilket gör att det vid upparbetningen utvunna plutoniet blir mindre och mindre användbart för tillverkning av nytt reaktorbränsle.

Något MOX-bränsle har veterligen inte tillverkats i Sverige, men även den tekniken finns alltså utvecklad och är i vilket fall som helst principiellt möjlig att ta hem till Sverige.

Använt kärnbränsle

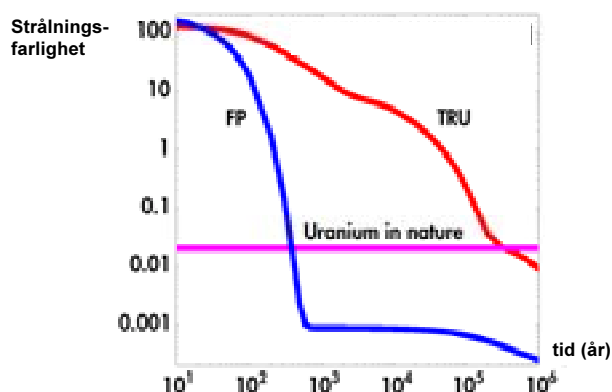
Det använda kärnbränslet i CLAB består till en helt dominerande del av uranbränsle från våra BWR- och PWR-reaktorer. En mindre mängd använt MOX-bränsle finns även i CLAB.

Under den tid som bränslet befunnit sig i reaktorhärden har en rad kärnreaktioner skett som lett till en uppbyggnad av radioaktiva produkter. Produktionen av radioaktiva ämnen i reaktorbränslet under driften av reaktorn sker väsentligen på två sätt – genom *kärnklyvning* (*fission*) eller genom *neutroninfångning*.

Vid klyvning av uran-235-kärnan delas denna i två delar, s.k. *klyvningsfragment* (*fissionsfragment*). Exakt hur kärnan klyvs varierar och bland de s.k. *klyvningsprodukterna* (*fissionsprodukterna*) finns en lång rad grundämnen representerade. De flesta av dessa har kort halveringstid eller är stabila men det finns också

några radioaktiva ämnen med mycket lång livslängd. Alla klyvningsprodukternas atomer är givetvis *lättare än uranatomer* som klövs.

Vid neutroninfångningsprocessen fångas en fri neutron in av t.ex. en uran-238-kärna. Då bildas först uran-239, men denna sönderfaller snart i ett par steg till plutonium-239, som har lång halveringstid (24 000 år). Många andra ämnen som är tyngre än uran – s.k. transuraner – bildas även i reaktorn och flera av dessa har också lång halveringstid.



Figur 8.1. Avklingning med tiden för strålningsfarligheten hos använt kärnbränsle, uppdelat på bidrag från transuraner (TRU) och klyvningsprodukter (FP). Strålningsfarligheten jämförs med den för uranmalm.

Omkring 95 % av det använda kärnbränslet är opåverkat uran medan 1,2 % är transuraner och 4,2 % är klyvningsprodukter.

Den mängdmässigt största andelen av transuranerna i avfallet utgörs av plutonium (87 %). Förutom att plutonium är *strålningsfarligt (radiotoxiskt)* utgör plutonium också ett kärnvapenmaterial. Det plutonium som bildats i bränslet i en lättvatten-

reaktor (*reaktorplutonium*) har dock en sammansättning som inte lämpar sig för vapentillverkning. Materialet kan ändå efter separation från de övriga ämnena i det använda kärnbränslet användas för primitiva kärnladdningar, som i händerna på t.ex. en terroristorganisation kan utgöra ett reellt hot i en utpressnings-situation. I detta sammanhang kan också noteras att reaktorplutonium, som ingår i det använda kärnbränslet i ett geologiskt förvar successivt, över ett 1 000-tals-års perspektiv, blir ett allt bättre vapenmaterial då plutonium-239 anrikas på grund av kortare livslängder för flera av de andra plutoniumisotoperna.

8.2.2 Den grundläggande principen för transmutation

Syftet med transmutationstekniken är att ”oskadliggöra” de radioaktiva ämnena i den mening att de omvandlas – transmutteras – till mer harmlösa radioaktiva produkter som strålar under kort tid eller rentav är stabila. Detta kan uppnås genom att de radioaktiva ämnena i det använda bränslet bestrålas så att dessa ämnen (ämnenas atomkärnor) övergår till andra ämnen (atomkärnor) med de önskade egenskaperna. Denna omvandling sker genom kärnreaktioner mellan de radioaktiva ämnenas atomer och partiklarna med vilka de bestrålas. Den strålning, som man avser att använda för transmutationen av de radioaktiva ämnena, är densamma som i våra reaktorer, nämligen neutronstrålning. För att uppnå önskad effekt kan dock strålningens intensitet och energifördelning behöva vara annorlunda i en transmutationsanläggning än i en kärnkraftreaktor av konventionell typ.

I huvudsak är det två typer av kärnreaktioner som åstadkommes av neutronbestrålningen, klyvning (fission) och neutroninfångning, dvs. samma typ av reaktioner som äger rum i uran-235 och uran-238 under förbränningen av reaktorbränslet i våra reaktorer. För att ”oskadliggöra” transuranerna eftersträvas bestrålningsförhållanden, som gör att dessa ämnen i huvudsak undergår klyvning, varvid det bildas klyvningsprodukter. Vid denna process bildas också energi, som kan tillgodogöras. De

långlivade klyvningsprodukterna, de som redan fanns i det använda kärnbränslet och de nytillkomna efter förbränningen av transuranerna, omvandlas därefter genom att en neutron vid bestrålningen adderas till klyvningsproduktens atomkärna (neutroninfångning). Denna kärnreaktion leder till ämnen med andra egenskaper, oftast mera kortlivade än de ursprungliga (långlivade) klyvningsprodukterna.



Figur 8.2. Schematisk beskrivning av klyvningsprocessen (fission). En neutron infångas av en uranatom, som exciteras och klyvs (fissionerar) i två delar (klyvningsprodukter). Samtidigt avges ett antal neutroner.

8.2.3 Termiska eller snabba neutroner

Sannolikheten för att de önskade kärnreaktionerna äger rum är beroende av energin hos neutronerna med vilka man bestrålar ett visst ämne. Man talar i detta sammanhang om två typer av bestrålning där neutronerna har olika energifördelning (eller hastighetsfördelning) nämligen termiska och snabba neutroner. Med termiska neutroner menas att neutronerna är i hastighetsmässig jämvikt med värmerörelsen hos de omgivande atomerna. Snabba neutroner har mycket högre hastighet än den som ges av den termiska rörelsen hos omgivande atomer.

Generellt gäller för transuranerna att kvoten mellan sannolikheterna att atomkärnan skall klyvas (fissionera) och att den skall infånga en neutron (neutronabsorption) är störst för snabba neutroner. Det vill säga att om man vill i huvudsak klyva transuranerna skall dessa bestrålas med snabba neutroner.

Å andra sidan är sannolikheten för att en neutron skall infångas av en klyvningsprodukt mycket större i ett flöde av termiska neutroner än i ett av snabba. I vissa transmutationskoncept har man också försökt utnyttja det faktum att neutroninfångningsprocessen har särskilt hög sannolikhet att inträffa för några energier (s.k. resonansenergier) inom ett relativt smalt energiintervall ovanför det termiska energiområdet.

8.2.4 Separation

Om transmutationen skall leda till en kraftig reducering av strålningsfarligheten (radiotoxiteten) av det radioaktiva avfallet (hundra-faldig reducering eller mer) krävs bestrålning av det använda kärnbränslet i flera omgångar (cykler) med mellanliggande separation av ämnena i detsamma. Färdigtransmuterat material måste avlägsnas så att det inte genom fortsatt bestrålning blir radioaktivt på nytt. Ännu ej transmuterat material skall återföras och blandas in i nytt bränsle för transmutationsanläggningen. Vilka ämnen som måste separeras är beroende av den transmutationsmetod, som man avser att använda.

Två principiellt olika separationsmetoder studeras, där man i bägge fallen eftersträvar maximal separationseffektivitet för att därigenom minska avfallsmängderna, som går till ett geologiskt förvar. Separationseffektiviteter på 99,9 % har uppnåtts för uran och plutonium medan för övriga transuraner och fissionsprodukter effektiviteten ligger på mellan 98 och 99,9 %.

Den ena metoden är en vidareutveckling av en metod, som är baserad på *vätskekemi*, och som används vid de existerande uppberedningsanläggningarna t.ex. i Frankrike (La Hague) och Storbritannien (Sellafield). Vid dessa anläggningar utvinns plu-

tonium ur använt kärnbränsle genom att bränslet löses upp i en stark syra, varefter man på kemisk väg skiljer ut bränslets olika beståndsdelar för tillverkning av nytt kärnbränsle (MOX-bränsle) till kommersiella termiska kärnkraftreaktorer.

Som ett första steg avser man att genom en vidareutveckling av den process som används för plutoniumutvinning (PUREX) också separera uran, neptunium och de långlivade klyvningsprodukterna jod och teknetium från övriga transuraner och klyvningsprodukter. Utveckling pågår av processer för att i följande steg separera de återstående transuranerna, americium och curium, som tillsammans med neptunium benämns minoritetsaktinider (MA) från de återstående klyvningsprodukterna. Problemet med denna separationsmetod är att vissa väsentliga kemikalier i separationsprocesserna blir överksamma när de utsätts för (stark) kraftig joniserande strålning. Därför måste radioaktiviteten i bränslet få avklinga under en relativt lång tid innan separationen kan genomföras. Alla typer av bearbetning och separationsprocesser innebär ökade risker för bestrålning av anställda och utsläpp till omgivningen.

AKA-utredningen föreslog på sin tid att en svensk upparbeitungsanläggning byggd på vätskekemi skulle byggas vid Bohuskusten. Dessa planer realiserades aldrig. Kärnkraftsindustrin valde istället att teckna avtal med utländska upparbeitungsanläggningar (La Hague i Frankrike och Sellafield i Storbritannien). Sedermera har dessa avtal upphört att gälla, eftersom de inte längre var meningsfulla när beslut fattats om att kärnkraften skulle avvecklas i Sverige och att man skulle direktdeponera det använda kärnbränslet som avfall. En viktig poäng med uppbyggnad är ju att det plutonium som bildats i reaktorbränslet skall tas tillvara och användas för tillverkning av nytt reaktorbränsle, dels som ett led i en effektiv hushållning med uranråvaran och dels för att förhindra att plutoniet kommer på avvägar och används som kärnvapenmaterial.

Teknik för att bygga en svensk upparbeitungsanläggning baserad på vätsketeknik finns alltså tillgänglig utomlands. Erfarenheterna från utlandet visar dock att det krävs stora anläggningar

för att nå en rimlig ekonomi. De uppberedningsanläggningar som för närvarande finns utomlands betjänar kärnkraftskunder i flera olika länder.

Vissa väsentliga kemikalier i vätskeseparationsprocessen blir, som redan nämnts, överksamma när de utsätts för stark strålning. Därför pågår forskning och utveckling i ett flertal länder avseende en alternativ separationsmetod. Denna grundar sig på s.k. *pyrokemiska processer*, som kan arbeta också i höga strålfält och därigenom ta hand om bestrålat bränsle från transmutationsanläggningar. I den pyrokemiska metoden, som ger mer kompakta separationsanläggningar, utnyttjas skillnader i de elektrolytiska egenskaperna för olika ämnen i den högaktiva delen av det använda bränslet som, vid elektrolysen, är upplösta i en saltsmälta med hög temperatur bestående av fluorider eller klorider. Med elektrolys menas att saltsmältan, som innehåller det radioaktiva använda kärnbränslet, placeras i ett kärl med två elektroder. Separationen sker genom att ämnena i det använda bränslet faller ut på den ena elektroden vid olika elektriska spänningar mellan elektroderna.

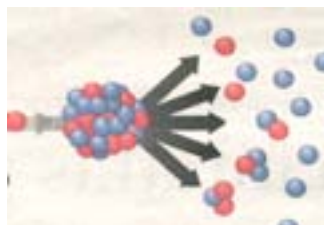
8.2.5 Tekniska alternativ

Hur skulle en transmutationsanläggning kunna se ut? – De olika lösningar, som för närvarande studeras, omfattar användningen av jon-acceleratorer, kritiska och underkritiska reaktorer samt termiska och snabba reaktorer av olika konstruktion. Med en kritisk reaktor menas en reaktor där neutronproduktionen i bränslet exakt balanserar neutronförlusterna genom reaktioner i bränsle, kylmedel, konstruktionsmaterial och av läckage medan en underkritisk reaktor har större neutronförluster än produktion. En termisk reaktor har ett termiskt neutronflöde i härden, d.v.s. neutronerna är i hastighetsjämvikt med de omgivande atomerna i bränslet, medan en snabb reaktor har ett snabbt neutronflöde, dvs. neutroner med väsentligt högre hastighet (energi) än de omgivande bränsleatomerna. Praktiskt taget alla

kärnkraftreaktorer, som är i drift idag världen över, inklusive Sveriges kärnkraftreaktorer av lättvattentyp, är kritiska termiska reaktorer. Ett fåtal snabba kritiska reaktorer finns i drift medan andra varianter av snabba reaktorer ännu är på prototyp- eller projektstadiet.

En transmutionsanläggning prestanda bestäms av neutronernas intensitet och energifördelning i härden, som påpekats tidigare, men också av neutronekonomin dvs. av hur många neutroner, som är tillgängliga för transmutationen av avfallet. Generellt kan sägas att de snabba kritiska reaktorerna har en bättre neutronekonomi för transmutation än de termiska. Bäst neutronekonomi har en typ av transmutionsanläggning, som består av en kombination av en kraftfull jon-accelerator och en underkritisk reaktor – ett s.k. acceleratordrivet system (Accelerator Driven System, ADS).

Acceleratordrivet system (ADS) med snabb underkritisk reaktor



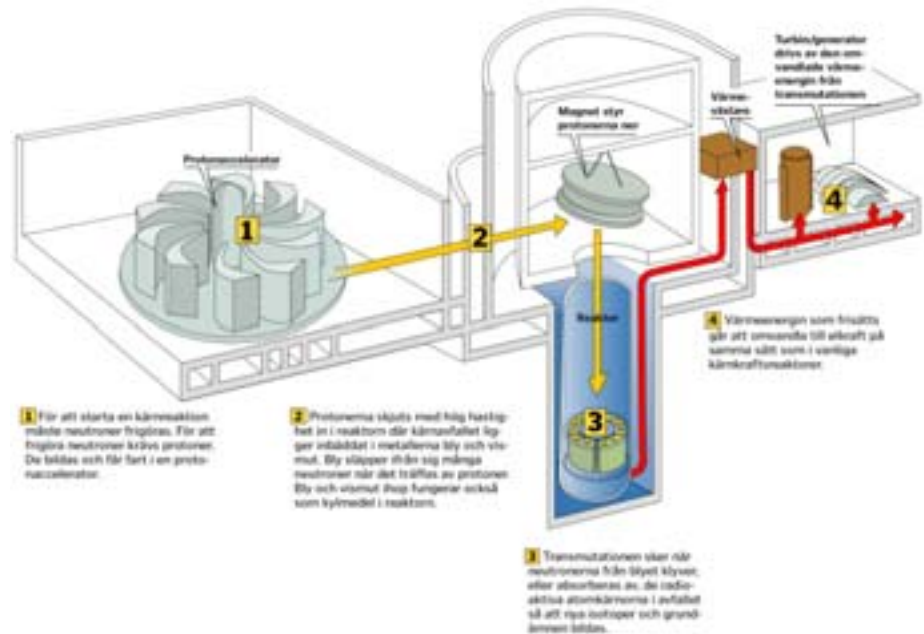
Figur 8.3. Schematisk beskrivning av kärnsplitringsprocessen (spallationsprocessen). När protoner (röda klot) med hög hastighet från acceleratorn kolliderar med bly- och vismut-atomer i centrum av den underkritiska reaktorn splittras atomkärnan i flera fragment och ett stort antal neutroner (blåa klot) frigörs.

Det acceleratordrivna systemet har i forskningssammanhang tilldragit sig störst intresse. En kraftfull jon-accelerator levererar sin jon-stråle (protoner, alltså väteatomkärnor) till en underkritisk reaktor. Protonerna får träffa en kropp av tungt material (t.ex. en blandning av bly och vismut i smält form), som finns i reaktorhårdens centrum. När protoner med mycket hög energi (hastighet) träffar atomer av något tungt material som bly eller vismut, så splittras dessa i flera fragment och ett stort antal neutroner frigörs. Processen kallas spallation. Någon svensk term för detta finns inte, men "kärnsplittring" kan kanske vara ett alternativ. Vid varje kärnsplittring frigörs några tiotal neutroner. Ett intensivt strålfält av neutroner byggs upp i växelverkan med reaktorns bränsle, som utgörs av de långlivade transuranerna från det använda bränslet. Tack vare underkriticiteten stoppas reaktorn omedelbart då acceleratorstrålen stängs av. Detta gör att säkerheten mot kriticitetsolyckor blir mycket hög.

För att effektivt förbränna *transuranerna* och då speciellt de tyngre transuranerna (MA) krävs, som ovan nämnts, en reaktor med snabba neutroner. För att undvika att de snabba neutronerna bromsas ned (termaliseras) krävs ett medium med tunga atomer. Störst intresse har visats användningen av flytande bly/vismut som kylmedel, som man har erfarenhet av från ryska ubåtsreaktorer. En underkritisk reaktor ger säkerhetsmässiga fördelar jämfört med en kritisk reaktor. Anledningen till detta är att en hög inblandning av minoritetsaktinider (MA) på bekostnad av uran-238 i bränslet ger sämre säkerhet mot kriticitetsolyckor eftersom uran-238:s kärnfysikaliska egenskaper bidrar till att förhindra kriticitetsolyckor i en kritisk reaktor.

Som påpekats ovan krävs det termiska neutroner för att effektivt transmuttera de långlivade klyvningsprodukterna. Av denna anledning har man tänkt sig att perifert i den snabba underkritiska reaktorns bränslehard åstadkomma en zon med termiska neutroner där transmutationen av klyvningsprodukterna kan äga rum. Alternativt har man studerat möjligheten att utnyttja resonanserna i neutroninfångningsprocessen (transmutationspro-

cessen för klyvningsprodukterna), som återfinns inom ett smalt energiområde ovanför det termiska området, och som neutronerna energimässigt passerar då de långsamt bromsas upp genom upprepade kollisioner mot de tunga atomkärnorna hos kylmedlet (bly/vismut).



Figur 8.4. Schematisk bild av en acceleratordrivet transmutationssystem (ADS).

Acceleratordrivet system (ADS) med termisk underkritisk reaktor

Acceleratordrivna system med termiska underkritiska reaktorer har också studerats. Störst intresse har ägnats system där man använder en saltsmälta (beryllium- och litiumfluorider alternativt natrium- och zirkoniumfluorider) som kylmedel, i vilken man också löser upp det aktiva avfallet som skall transmutteras. Drift-erfarenhet finns från en kritisk reaktor av saltsmältetyp för energiproduktion, som konstruerades och kördes under några år på 1960-talet vid Oak Ridge National Laboratory i USA. Bl.a. har beräkningar gjorts på reduktionen av de radioaktiva ämnena i den högaktiva delen av det använda bränslet vid bestrålning i ett acceleratordrivet system med en underkritisk saltsmältereaktor. Beräkningarna visar att man får en relativt stor reduktion av de aktiva ämnena i bränslet efter en bestrålningscykel utan separation. Om separation görs av nybildade kortlivade klyvningsprodukter från bränslet i saltsmältan kan man uppnå en större reduktion av de aktiva ämnena än utan separation av dessa produkter. Studier har gjorts av möjligheten att utföra denna ”reningsprocess” i en direktansluten separationsanläggning genom vilken saltsmältan från reaktorn kontinuerligt cirkuleras. Denna teknik innehåller dock flera problem som ännu inte är lösta.

En väsentlig skillnad mellan transmutation i ett termiskt neutronflöde jämfört med detsamma i ett snabbt flöde är att en liten del mycket tunga ämnen byggs upp av det termiska flödet. Dessa relativt långlivade element finns kvar i restavfallet efter transmutationen och måste slutförvaras.

Termiska kritiska reaktorer

Det mest beprövade sättet att bli kvitt plutoniet är att blanda det med utarmat eller naturligt uran till s.k. MOX-bränsle och använda detta som bränsle t.ex. i termiska reaktorer av den typ som

vi nu har i Sverige. Man slipper då köpa motsvarande mängd anrikat uran och man hushållar även bättre med det uran som man en gång brutit för tillverkningen av det ursprungliga uranbränslet. Man kan dock inte upprepa denna process mer än ett fåtal gånger, eftersom halten av tyngre plutoniumisotoper ökar efterhand, och dessa inte kan separeras från det ”nyttiga” plutoniet (plutonium-239) på kemisk väg, eftersom det rör sig om samma grundämne. För en vidare förbränning av restplutonet krävs en snabb reaktor, kritisk eller underkritisk.

Förutom plutonium, som nämnts ovan, kan också de flesta klyvningsprodukterna transmutteras i reaktorer med termiskt neutronflöde. Emellertid konsumeras neutroner vid transmutationen av klyvningsprodukterna till skillnad från vid förbränningen – transmutationen – av plutonium i vilken det produceras nya neutroner. Som tidigare nämnts är neutronekonomin (antal neutroner tillgängliga för transmutationsprocesser) låg för termiska kritiska reaktorer dvs. för kärnkraftreaktorer av konventionell typ. För att inte få orimligt långa transmutationstider krävs den bättre neutronekonomin, som erbjuds av ett acceleratordrivet system eller andra kritiska reaktorer som anpassats speciellt till transmutation.

Snabba kritiska reaktorer

För restplutonet från MOX-förbränningen av plutonium, men också för en effektiv förbränning av de flesta av de övriga transuranerna i det använda bränslet (minoritetsaktiniderna neptunium, americium och curium), krävs snabba reaktorer dvs. reaktorer där neutronerna har högre hastighet än den som ges av den termiska rörelsen (värmerörelsen) hos härdens atomer. Egenskaperna för transmutation hos flera olika typer av snabba kritiska reaktorer har studerats. Även om neutronekonomin för transmutation är bättre för dessa reaktorer än för de termiska kritiska reaktorerna så krävs en stor park av snabba reaktorer för att få rimlig transmutationskapacitet. Orsaken till detta är att

man endast kan ha en låg inblandning av de s.k. minoritetsaktiniderna (neptunium, americium och curium) i uran-bränslet för att undvika att man tummar på reaktorns säkerhetsmarginaler.

Snabba kritiska prototypreaktorer för kraftgenerering har tidigare byggts utomlands. Vanligen har dessa plutoniumbränsle och kyls med flytande natrium. Dessa reaktorer har därtill den egenskapen att man i en mantelzon – bestående av naturligt eller utarmat uran och som omger reaktorhärden – kan få en uppbyggnad av plutonium, som överstiger plutoniumförbrukningen i reaktorhärden. Sådana reaktorer kallas därför ofta bridreaktorer (av engelska ordet breed, som betyder avla eller alstra). För ca fyrtio år sedan ansågs att bridreaktorer efterhand skulle komma att ersätta dagens reaktorer, inte minst för att de håller effektivt med jordens tillgångar av uran. Men den verkliga utvecklingen har inte blivit sådan, åtminstone inte hittills. Tekniken är svårare än med dagens reaktorer, inte minst genom att kylningen sker med flytande natrium, som bl.a. är explosivt vid kontakt med syre.

Eftersom det finns gott om uran på världsmarknaden och även gott om anrikningskapacitet är efterfrågan på plutonium som reaktorbränsle mycket låg. I stället har plutonium blivit något som vi vill bli kvitt. Detta hänger även samman med det faktum att bränslekostnaden i ett kärnkraftverk utgör en mycket liten andel av produktionskostnaden för elkraften. Det är den höga anläggningskostnaden som slår igenom på priset. Man kan säga att ett kärnkraftverk är dyrt att bygga men billigt att köra. Därför skall det helst gå för fullt så mycket som möjligt. Med t.ex. ett oljeeldat kraftverk är det tvärtom. Det är jämförelsevis billigt att bygga men dyrt att köra, eftersom oljan är dyr liksom rening av rökgaser m.m.

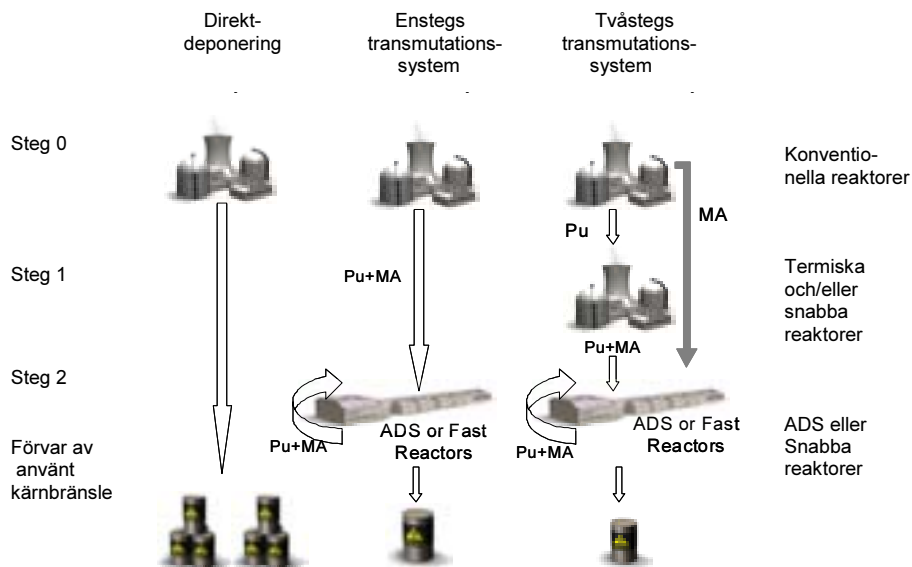
Därtill kommer – i nuvarande tider av nedrustning – att en stor mängd plutonium blir tillgängligt i samband med att kärnvapen nedmonteras. Detta bidrar ytterligare till att plutonium blivit en överskottsvara, som vi helst vill ”oskadliggöra” för att nedrustningen skall bli bestående och att plutoniet inte på nytt skall kunna tas i anspråk för kärnvapenladdningar.

Någon större utbyggnad av snabba kritiska reaktorer, i vilka man skulle kunna förbränna plutonium och minoritetsaktinder, är därför för närvarande inte sannolik. Man är hänvisad till acceleratordrivna underkritiska system för denna förbränning, eventuellt kombinerad med en inledande förbränning av plutonium, i form av MOX-bränsle, i termiska reaktorer.

Kombinationer av ADS och kritiska reaktorer

För att uppnå bästa möjliga förbränning av den radioaktiva delen av det använda bränslet och därtill ekonomi i hanteringen av detsamma studeras också kombinationer av nämnda transmutionsmetoder inom de nationella och internationella forskningsprogrammen. Två huvudlinjer särskiljs beroende på om bestrålningen av det radioaktiva avfallet sker via ett steg (single strata), med eller utan återgång av avfallsbränslet efter separation av klyvningsprodukterna, eller via två steg (double strata), där t.ex. plutonium förbränns i en termisk reaktor åtföljt av transmutation av det resterande avfallet i ett acceleratordrivet system eller i en för ändamålet anpassad kritisk reaktor.

De nationella forskningsprogrammen är inriktade mot transmutionsmetoder som passar in i respektive lands kärnenergi-program, så till vida att tvåstegsprincipen (double strata) prioriteras i länder där förbränning av plutonium i kraftreaktorer redan pågår (MOX bränsle) medan länder utan plutoniumförbränning fokuserar forskningen på enstegsprincipen. Antalet ADS-anläggningar som krävs för förbränningen av kärnavfallet från en grupp av lättvattenreaktorer varierar med transmutionsmetod. Om alla transuraner skall förbrännas i ADS-anläggningar uppskattas behovet av sådana anläggningar till ca 20 % av antalet kärnkraftreaktorer dvs. en ADS-anläggning per fem kärnkraftreaktorer) medan i tvåstegsalternativet, med endast förbränning av MA i ADS-anläggningar, behovet är ca 15 % (dvs. en ADS-anläggning per sju kärnkraftreaktorer). En beskrivning av forskningsläget i några tongivande länder ges i avsnitt 8.4.



Figur 8.5. Direktdeponering, enstegs och tvåstegs transmutations-system (Pu plutonium. MA minoritetsaktiniderna: Neptunium, americium och curium).

8.3 Kunskapsläge

Var står vi rent kunskapsmässigt för att kunna tillämpa transmutationsmetoden i syfte att minska strålningsfarligheten (radiotoxiteten) och livslängden för använt kärnbränsle?

Transmutationstekniken bygger på kända principer och vetenskapliga fakta. De processer (kärnreaktioner) i det använda kärnbränslet, som leder till önskat resultat, är tillräckligt väl kända för att man skall kunna bedöma metodens tillämpbarhet. Där emot krävs mer detaljkunskap för att kunna optimera de system,

som ingår i en transmutationsanläggning, vad gäller drifttegenskaper, säkerhet, ekonomi m.m.

Den praktiska tillämpningen är emellertid komplicerad. De tekniska kunskaperna är olika väl utvecklade för de många delar, som ingår i en transmutationsanläggning. Detta gäller främst acceleratordrivna system med underkritiska reaktorer, som man avser att använda i praktiskt taget samtliga koncept för transmutation av hela eller delar av det använda bränslet.

Den internationella utvecklingen av acceleratörer för högenergifysiken, under de senaste decennierna, har inneburit ett teknologiskt genombrott. Denna utveckling utgjorde i själva verket incitamentet till att i början på 1990-talet påbörja en mer målmedveten forskning inom transmutationsområdet: Denna idé fanns redan under 1950- och 60-talen men den ansågs då teknologiskt svår att realisera. Den allmänna uppfattningen idag är emellertid att en accelerator, som uppfyller kraven för acceleratordriven transmutation, kan byggas men med ett visst frågetecken för kravet på kontinuerlig, ostörd drift (utan korta eller långa strömavbrott) under långa tidsperioder.

Som beskrivits i avsnitt 8.2 driver den kraftfulla jonstrålen från acceleratören en intensiv neutronkälla placerad i centrum av en underkritisk reaktor. Neutronproduktionen, som genereras då jonstrålen stoppas av ett strålmål av tungt material (vanligtvis en blandning av bly och vismut i smält form), kan med relativt god noggrannhet beräknas för olika egenskaper hos jonstrålen och strålmålets material och utformning. De tekniska svårigheterna hänger främst samman med hållfasthetsegenskaperna hos det fönster som skiljer acceleratören från strålmålet. Detta fönster utsätts för höga stråldoser, som ger strålskador i materialet, men det utsätts även för termiska krafter då acceleratören startas och stoppas. Ett annat tekniskt problem är korrosionen i väggmaterialet av den behållare som innehåller bly/vismut-smältan. Lösningen till detta problem har hämtats från konstruktionen av ryska ubåtsreaktorer, som också använde bly/vismut-smälta som kylmedel. Ett ytterligare problem som måste kunna hanteras är produktionen av en radioaktiv poloniumisotop, som bildas vid bestrålningen av

vismut och har halveringstiden 138 dagar. Flera projekt är på gång för att lösa dessa problem där egenskaperna hos bly/vismut-smältor, strålningståliga material och kompletta strålmål med eller utan ingångsfönster studeras.

Reaktorprogram för beräkning av driftegenskaper, säkerhetsaspekter, utbränning m.m. hos en acceleratordriven underkritisk reaktor testas i ett flertal pågående experiment. Samtidigt utvecklas metoder för att kontinuerligt mäta kriticiteten (underkriticiteten) hos reaktorn, något som är viktigt ur säkerhets-synpunkt.

Flera olika kylmedel studeras för den underkritiska reaktorn (bly/vismut-smälta, smält natrium eller heliumgas). En smälta av bly/vismut har bedömts såväl fysikaliskt som säkerhetsmässigt vara det bästa kylmedlet. Samma teknologiska problem med korrosion och poloniumproduktion, som ovan redovisats för den i reaktorn centralt placerade neutronkällan, finns också vid konstruktionen av reaktorn. Därtill kommer problemet med tillverkningen av reaktorbränslet som skall innehålla plutonium och de s.k. minoritetsaktiniderna neptunium, americium och curium från det använda kärnbränslet. Flera olika typer av bränslen studeras (nitrid-, oxid- och metalliska bränslen) där man eftersträvar god värmeledningsförmåga, hög smältpunkt och hög strålningsacceptans. Det senare krävs på grund av extremt höga strålningsnivåer hos nämnda bränsle som kan leda till materialskador. Inblandning av bl.a. keramiska material i bränslet studeras för att minska strålskador i bränsleelementen.

Som beskrivits i avsnitt 8.2 studeras också ett alternativt koncept för den underkritiska reaktorn, där det använda kärnbränslet är upplöst i saltsmältor dvs. fluorider bestående av beryllium- och litium- alternativt natrium- och zirkonium-fluorider. Kunskapen om denna typ av reaktor grundar sig på erfarenheten från driften av en kritisk saltsmälte-reaktor vid Oak Ridge National Laboratory, USA under 1960-talet. Även om denna typ av underkritisk reaktor är principiellt intressant genom en enklare bränslehantering anses de tekniska svårigheterna större än med den tidigare beskrivna bly/vismut-kylda

reaktorn. Trots detta pågår ett flertal forskningsprojekt, som inriktar sig på att öka kunskapen om saltsmältor och dess användning i reaktorsammanhang.

För att transmutationen skall bli effektiv krävs som tidigare påpekats en mer eller mindre långtgående separation av ämnena i det använda kärnbränslet. I princip är det två olika metoder som studeras, där den ena baseras på vätskekemi och den andra på pyrokemi (se avsnitt 8.2). Den första metoden är beprövad och tillämpas kommersiellt i Frankrike (La Hague) och Storbritannien (Sellafield) för tillverkning av MOX-bränsle. Forskning pågår för att med liknande teknik också kunna separera de övriga transuranerna (minoritetsaktiniderna) och vissa klyvningsprodukter. Som nämnts i avsnitt 8.2, förstörs emellertid kemikalier som ingår i separationsprocesserna av höga stråldoser, varför metoden inte är användbar på färskt använt kärnbränsle, speciellt inte återcyklat transmutationsbränsle. En mångårig avklingning av aktiviteten krävs innan separationen kan genomföras med denna metod, vilket leder till en lång behandlingstid för det använda kärnbränslet omfattande avklingning, separation, bränsletillverkning och transmutation i flera cykler. Med den andra metoden, som baseras på pyrokemi, kan man hantera högaktivt material men metoden är inte lika väl utvecklad som den förstnämnda baserad på vätskekemi. Den pyrokemiska metoden har hittills tillämpats med framgång i laboratorieskala och ett omfattande utvecklingsarbete pågår för att lyfta separationskapaciteten till en kommersiellt intressant nivå. Det är viktigt att separationsprocessen, som på grund av den mycket höga strålningsintensiteten måste ske i strålskärmda s.k. ”heta celler” också utformas så att utsläpp till omgivningen blir så små som möjligt.

Parallellt med forskningen på ovan redovisade problem inom separations- och transmutationstekniken pågår konstruktionsstudier, bl.a. som ett projekt inom EU:s ramprogram, av demonstrationsanläggningar för transmutation. Även fullskaliga acceleratordrivna transmutationsanläggningar har i några få fall offererats där Prof. C. Rubbia (nobelpristagare och tidigare chef

för CERN) står bakom ett koncept med flytande bly/vismut som kylmedel och Dr C. Bowman (tidigare chef för transmutationsforskningen vid Los Alamos National Laboratory, USA, numera med eget företag i transmutationsbranschen (ADNA)) står bakom ett annat koncept med saltsmältor som kylmedel. Inget av koncepten anses kunna realiseras på nuvarande kunskapsnivå utan de kräver inledningsvis ett omfattande tekniskt utvecklingsarbete.

Sammanfattningsvis kan sägas om kunskapsläget gällande separations- och transmutationstekniken att flera tekniska problem måste lösas innan man slutgiltigt kan bedöma transmutationsmetodens tillämpbarhet rent tekniskt, säkerhetsmässigt, ekonomiskt etc. Speciellt gäller detta problemen kring tillverkningen av bränsleelement och separationen av det högaktiva transmutationsbränslet. Arbeten pågår, som nämnts och beskrivs mer utförligt i avsnitt 8.4, för att lösa dessa problem. Hittills har den pågående forskningen inte givit resultat som motsäger att det skulle vara möjligt att tillämpa transmutation i syfte att minska strålningsfarligheten och livslängden för använt kärnbränsle.

8.4 Pågående och planerad forskning

De omfattande forskningsprogram som påbörjats i många länder inom separation och transmutation är av långsiktig karaktär. I huvudsak bedrivs grundläggande forskning som ger underlag att bedöma vilket transmutationskoncept som är optimalt vad beträffar effektivitet, kapacitet, säkerhet och ekonomi under givna teknologiska men också politiska förutsättningar. Den kompetens och infrastruktur inom kärnenergiområdet, som krävs för att bygga upp en transmutationskapacitet för det använda kärnbränslet, återfinns främst i de länder som har ett aktivt kärnkraftprogram. Av denna anledning ges inledningsvis för de länder som bedriver forskning på transmutation kortfattade redogörelser för kärnkraftprogrammen i respektive land.

En gemensam målsättning för forskningen på transmutation av använt kärnbränsle är att på 10–20 års sikt bygga en demonstrationsanläggning. Parallellt med denna forskning pågår utveckling av separationsteknik för använt kärnbränsle, och då speciellt av den teknik som utnyttjar den tidigare omnämnda pyrokemin.

8.4.1 Europeisk forskning

I Europa bedrivs transmutationsforskning dels med ekonomiskt stöd från EU och dels inom nationella program men också inom multinationella program med eller utan medverkan av EU.

Multinationella projekt

Inom EU-länderna intar Frankrike, Italien och Spanien en ledande roll vad beträffar forskningen på separation och transmutation. Gemensamt tog dessa länder (forskningsministrarna i respektive land) initiativ till ett planförslag för forskningen inom EU vars mål är att till år 2012 bygga en demonstrationsanläggning för accelerator driven transmutation, följd av en prototyp anläggning omkring 2030, som lägger grunden för industriella anläggningar omkring 2040.

Medverkan i detta multinationella initiativ skedde sedermera också från Belgien, Finland, Portugal, Sverige, Tyskland, Österrike och EURATOM. Arbetet resulterade år 2001 i en rapport, som beskriver hur en anläggning med ett accelerator drivet system för transmutation skulle kunna byggas till omkring 2010 (Eur 01). Arbetet inom gruppen leddes av Prof. Rubbia. Rapporten beskriver de pågående projekten i Europa som tillsammans utgör ett brett forsknings- och utvecklingsprogram kring de grundläggande principerna för ett accelerator drivet system.

Ett annat multinationellt projekt (Megawatt Pilot Experiment, MEGAPIE), som initierats av laboratorier i Schweiz, Frankrike, Italien och Tyskland med medverkan av laboratorier också i USA, Japan och Sydkorea, gäller konstruktion och drift av en av huvudkomponenterna i ett acceleratordrivet system, nämligen den utrustning – strålmålet – som med accelerators hjälp levererar neutroner till den underkritiska reaktorn. Utrustningen kommer att sättas upp och testas vid en kraftfull accelerator, som finns vid ett nationellt laboratorium (Paul Scherrer Institute, PSI) i Schweiz.

EU – finansierade projekt

EU:s stöd till transmutationsforskning har ökat från ca 5 M€ under tredje ramprogrammet (1990–1994) till 37 M€ för det pågående sjätte ramprogrammet (2002–2006).

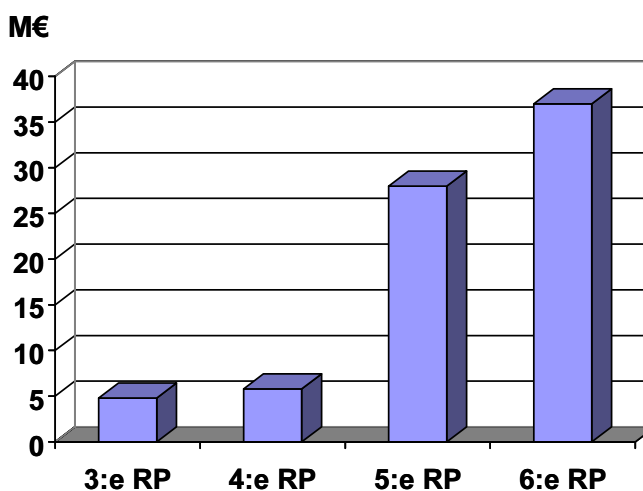
EU har inte officiellt tagit ställning till planförslaget från gruppen ledd av Prof. Rubbia men följer ändå det föreslagna forskningsupplägget från gruppen i stort (Eur 01). Ett centralt projekt i detta upplägg är en preliminär studie av en acceleratordriven demonstrationsanläggning, som påbörjades under det femte ramprogrammet 1998-2002.

Vidare stödde EU under det femte ramprogrammet tolv projekt uppdelade på fem delområden, som alla inordnades under ett ”paraplyprogram” för forskning på avancerade tekniska lösningar för separation och transmutation (Advanced Options for Partitioning and Transmutation, ADOPT). Inom de tolv projekten bedrevs grundläggande forskning på separation, kärnbränsle för transmutation, kärnfysikaliska data, teknologi och material och en preliminär studie av en experimentanläggning avseende ett acceleratordrivet system. Mer än 50 institut och laboratorier, varav flera från Sverige, var engagerade i dessa projekt av vilka flera fortfarande pågår.

Det sjätte ramprogrammet (2002–2006) innehåller fler projekt än under tidigare ramprogram och det täcker ett helt forsk-

ningsområde med preciserad målsättning. Man syftar också till att knyta ihop de nationella forskningsresurserna i nätverk och gynna rörligheten hos forskarna.

Speciellt kan nämnas ett projekt inom sjätte ramprogrammet, som syftar till att utvärdera inverkan av nya teknologier, speciellt transmutation, på geologiska förvar både vad beträffar ekonomi och radiologiska aspekter. Projektet (Impact of Partitioning, Transmutation and Waste Reduction Technologies on the Final Nuclear Waste Disposal) rymmer 20 partners från ledande organisationer och forskningsinstitutioner i Europa och koordineras av Prof. W. Gudowski, KTH, Stockholm. Icke tekniska faktorer och icke tekniska frågeställningar kommer också att behandlas inom projektet liksom förmedling av resultat till allmänheten.



Figur 8.6. Budget för EU:s forskningsprogram (ramprogram) för separation och transmutation från tredje ramprogrammet (1990–1994) till sjätte ramprogrammet (2002–2006).

Nationella europeiska projekt

Forskning på separation och transmutation bedrivs också på nationell basis inom vissa EU-länder (Jeu 02, SKI 03). Målsättningen för denna forskning är beroende av respektive lands kärnenergiprogram. De experimentella utrustningar som tagits fram inom dessa nationella program erbjuds ofta för användning i multinationell forskning inom EU eller globalt.

Frankrike

Det nationella programmet i Frankrike för omhändertagande av kärnavfall omfattar tre studier specificerade i en fransk lag av den 30 december 1991. Lagen stipulerar att en slutgiltig rapport skall föreligga gällande dessa studier så att det franska parlamentet kan ta ett beslut 2006 om metod för omhändertagande av det franska kärnavfallet. Den första studien fokuserar på metoder att kraftigt reducera mängd och radiotoxitet hos kärnavfallet för en given energiproduktion. Den andra studien fokuserar på geologiskt djupförvar utan mänsklig långsiktig övervakning och den tredje på ett interimistiskt ytligt förvar som kräver en permanent övervakning. Den första studien inkluderar utvärderingar av potentialen för separation och transmutation i tillgängliga reaktorer eller i innovativa reaktorer t.ex. acceleratordrivna underkritiska reaktorer. Rapporten, som skall föreläggas parlamentet, kan komma att få betydelse inte bara för Frankrikes ställning i dessa frågor utan även för flera andra EU-länder.

Några projekt som drivs av Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) kan speciellt nämnas. Dels pågår i samarbete med italienska kärnenergiorganisationen "Ente per le Nuove Technologie, l'Energia e l'Ambiente" (ENEA) två projekt för utveckling av en kraftfull accelerator för transmutation och dels studeras kopplingen mellan ett underkritiskt system drivet av en mindre accelerator och där olika bränslen och kylmedel kommer att användas.

Tyskland

Tyskland har en lång tradition av forskning inom kärnenergiområdet genom verksamheterna vid institutionerna för kärnfysik och kärnenergi i Jülich och Karlsruhe. För den europeiska transmutationsforskningen spelar forskningen vid Karlsruhe blylaboratorium (Karlsruhe Lead Laboratory, KALLA) en viktig roll. Forskningen inriktas på att utveckla tekniken för användning av bly/vismut-smältor som kylmedel i reaktorer. Speciellt studeras korrosionsproblem och hydraulik. I Karlsruhe finns också ett av fyra forskningsinstitut som drivs av EURATOM nämligen Institutet för transurana element (Institute for Transuranium Elements, ITU) där forskning bedrivs angående dels tillverkning av bränsle som innehåller de s.k. minoritetsaktiniderna (neptunium, americium och curium) och dels pyrokemisk separationsteknik.

Italien

Trots avsaknaden av kärnkraftreaktorer i Italien så bedrivs en ganska omfattande forskning på transmutationsteknik. Delvis kan kanske detta förklaras av att Prof. Rubbia, som är italienare, nu är chef för ENEA. Rubbia och hans grupp vid CERN lanserade i mitten på 90-talet ett acceleratordrivet system ("Energiförstärkaren"), som var tänkt att producera energi utgående från toriumbränsle i stället för uran. Fördelen med torium är att mindre mängder av transuraner (speciellt plutonium) bildas vid användningen av detta bränsle. Dessutom finns relativt gott om torium i naturen (betydligt mer än uran). Samma typ av acceleratordrivet system, som ingick i "Energiförstärkaren", kan också användas för transmutation av kärnavfall.

Tre större projekt pågår i Italien finansierade av ENEA och i samarbete med CEA, Frankrike. Studierna omfattar fysik och teknologi för ett acceleratordrivet system för transmutation. Studien inleds med acceleratorn till systemet samt av storskalig test av bly/vismut som kylmedel. Man använder en underkritisk

TRIGA reaktor driven av en cyklotronaccelerator för test av kopplingen mellan dessa delar i ett acceleratordrivet system.

Belgien

Ett större experiment (MYRRHA) med ett acceleratordrivet system planeras också i Belgien. Liksom i Italien har man påbörjat konstruktionen av en experimentanläggning bestående av en kraftfull accelerator och en underkritisk reaktor med plutoniumbränsle och olika bestrålningszoner med snabba och termiska neutroner. Anläggningen offereras också som samarbetsprojekt inom EU.

Ryssland

I Ryssland planeras en kraftfull utbyggnad av kärnkraften till 2020. Planerna omfattar konstruktion av 11 nya reaktorer till 2010 med en total effekt av 10,8 GW och av ytterligare 26 reaktorer till 2020 med en total effekt av 26,2 GW. Som ett resultat av denna utbyggnad kommer kärnkraften i Ryssland att år 2020 leverera omkring 360 TWh per år.

Vidare har snabba reaktorer med flytande bly som kylmedel studerats i Ryssland (BREST-300 och BREST-1200). Bränslecykeln till denna typ av reaktor (BREST) är sådan att risken för kärnvapenspridning reduceras, eftersom inget rent plutonium behöver extraheras från det utbrända bränslet innan det återförs till reaktorn. Forskning pågår också på användningen av toriumbränsle i saltsmältereaktorer i samarbete med USA och Japan.

Den omfattande forskningen och utvecklingen som bedrivs i Ryssland inom kärntechnologiområdet har genererat ett kunnande om flera typer av reaktorer som är intressanta för transmutationsforskningen. Detta har resulterat i ett nära samarbete rörande transmutationsforskningen mellan ryska och västerländska forskargrupper både via bilaterala eller multilaterala avtal

och genom en internationell organisation International Science and Technology Centre (ISTC).

ISTC bildades gemensamt av EU, Japan och USA efter Sovjetunionens sammanbrott. Syftet med ISTC är att finansiellt stödja övergången till civil forskning vid de många kärnvapenlaboratorierna i de olika före detta Sovjetrepublikerna. Detta skedde för att motverka spridningen av kärnvapenkunskande via utflyttning av ryska experter från dessa laboratorier till stater med ambition att skaffa sig kärnvapen. Flera länder har givit sitt ekonomiska stöd till ISTC-verksamheten. Innan Sverige gick med i EU beslöt den svenska riksdagen om ett nationellt stöd till ISTC, ett stöd som numera kanaliseras via EU för svensk del.

Ett flertal forskningsprojekt gällande separation och transmutation av använt kärnbränsle har finansierats av ISTC (SKI 03). Prof. W. Gudowski, Avdelningen för kärn- och reaktorfysik, KTH är ordförande i en till EU-kommissionen rådgivande grupp om ekonomiskt stöd från EU till projekt gällande forskning på transmutation. Dessa projekt omfattar grundläggande studier inom ett flertal områden väsentliga för utvecklingen av acceleratordriven transmutation. Som exempel kan nämnas kärnfysikaliska data och program för beräkningar på acceleratordrivna system, utveckling och tillverkning av utrustning för att producera ett intensivt neutronflöde initierat av accelerators jonstråle, studier av egenskaperna hos saltsmältor för reaktordrift och separation samt byggande av en forskningsanläggning för att studera kopplingen mellan en accelerator och en underkritisk reaktor. De projekt som finansieras via anslag från EU till ISTC har knutits till motsvarande projekt – ämnesmässigt sett – som drivs inom EU:s ramprogram. Förutom kunskapsutbytet som detta lett till så har också de ryska forskningsgrupperna fått en större kontaktyta västerut, något som tidigare i hög grad saknades.

Speciellt kan framhållas ett projekt vid Institute of Physics and Power Engineering (IPPE), Obninsk, som ursprungligen initierades och finansierades av svenska anslag till ISTC och därefter också fick finansiellt stöd från USA och EU. Projektet

gällde konstruktion och tillverkning av en utrustning innehållande en bly/vismut-smälta för produktion av ett intensivt neutronflöde med hjälp av jonstrålen från en högenergiaccelerator. Utrustningen utgör en prototyp till den neutronkälla, som skall driva en underkritisk reaktor i ett acceleratordrivet transmutationssystem. Utrustningen stod färdig 2001 och skulle enligt planerna bestrålas vid högenergiacceleratorn vid Los Alamos National Laboratory i USA. Av kostnadsskäl fick bestrålningen uppskjutas på obestämd tid. Utrustningen befinner sig för närvarande i ett nystartat laboratorium för bly/vismut smältor vid Nevada University, USA där den användes för undervisning och forskning.

Det nationella programmet finansieras av Departementet för atomenergi (Ministry for Atomic Energy, MINATOM) och omfattar studier av transmutation med såväl kritiska som acceleratordrivna underkritiska blykylda snabba reaktorer. Studierna baseras på erfarenheter från blykylda ubåtsreaktorer.

Tjeckien

Sedan ett flertal år bedrivs ett forskningsprogram gällande transmutation i Tjeckien. Programmet som är relativt ambitiöst grundar sig bl.a. på att Tjeckien har svårigheter att inom landets gränser finna en lämplig plats för ett geologiskt slutförvar. En reducering av kärnavfallsmängderna skulle minska detta problem.

Forskningsprogrammet inriktar sig på transmutation av använt kärnbränsle med användning av en saltsmältereaktor, acceleratordriven eller inte. Som tidigare nämnts löses, i denna typ av reaktor, bränslet (det använda kärnbränslet) upp i kylmedlet som är en saltsmälta. Bränslet avses pumpas kontinuerligt i en rörslinga genom ett separationssteg, där redan transmuterat material skiljs av och resten går tillbaka i reaktorn. Forskningen bedrivs i nära samarbete med flera ryska laboratorier.

8.4.2 Forskning i USA

Spencer Abraham, USA:s energiminister, informerade vid kärn-energitoppmötet i februari 2002 i Washington DC om planerna på en ny typ av amerikansk kärnreaktor som skall tas i drift 2010. Initiativet tas gemensamt av US Department of Energy (DOE) och den privata elkraftsindustrin.

Vidare startades 1999 ett program för forskning och utveckling av framtida reaktorer för kärnenergi (Nuclear Energy Research Initiative, NERI). Programmet har i huvudsak följande målsättningar och inriktningar:

- Reaktorerna och bränslecykeln skall utformas så att spridning av kärnvapen motverkas
- Avancerade reaktorsystem
- Vätgasproduktion med kärnreaktorer
- Grundläggande kärnenergiforskning

Bilaterala avtal om samarbete har slutits med Kanada, Frankrike, Brasilien och Sydkorea. Förhandlingar om samarbete pågår med Storbritannien och Sydafrika.

US DOE leder också ett internationellt forum för utveckling av den fjärde generationens kärnreaktorer (Generation-IV Reactor International Forum, GEN-IV) där man lägger stor vikt vid att optimera icke-spridningsaspekter, driftsäkerhet, ekonomi, miljöaspekter m.m. Deltagande länder är förutom USA, Storbritannien, Schweiz, Sydkorea, Sydafrika, Japan, Frankrike, Kanada, Brasilien och Argentina. Arbetet går ut på att visa på 6–8 lovande reaktorteknologier och att presentera forsknings- och utvecklingsbehov i syfte att kunna bygga GEN-IV reaktorsystem före 2030. I april 2003 publicerade DOE en rapport som visar behovet av teknologisk forskning och utveckling för att stödja den pågående studien av fjärde generationens reaktorer (DOE 03).



Figur 8.7. Reaktorutvecklingen t.o.m. den planerade fjärde generationen av reaktorer.

I juli 2002 tillkännagav Spencer Abraham också att "Idaho National Engineering and Environmental Laboratory (INEEL)" kommer att etableras som USA:s ledande centrum för kärnenergiforskning och -utveckling.

USA:s kongress har beslutat att det geologiska förvaret av kärnavfall i Yucca Mountain skall byggas. Förvaret ligger inom testområdet för kärnvapen i Nevadaöknen och beräknas tas i drift 2010. Det kommer vid denna tidpunkt att nätt och jämt rymma de avfallsmängder som då finns i USA. Ett sätt att slippa söka nya platser för fler förvar och därmed problemen med att få allmänhetens acceptans av dessa nya förvar kan vara att radikalt minska avfallsmängderna via separation och transmutation.

Härigenom skulle Yucca Mountain räcka som enda avfallsförvar en lång tid framöver.

Mot denna bakgrund anmodade kongressen USA:s energiministerium (Department of Energy, DOE) 1999 att presentera en beskrivning av de teknologiska möjligheterna och kostnaderna för att använda ett acceleratordrivet transmutationssystem för att minska mängden civilt reaktoravfall. Rapporten presenterades för kongressen i oktober 1999 (DOE 02). Rapporten rekommenderar följande faser på vägen mot utveckling och tillämpning av den acceleratordrivna transmutationstekniken:

- Faser med statligt stöd:
 - FoU (2000–2008)
 - Uppföljning av FoU (2008–2027)
 - Demonstration (2000–2027)
- Privatisering
 - Privatisering av första anläggningen (2023–2097)
 - Privatisering av ett flertal anläggningar (2027–2111)

Som ett resultat av DOE:s rapport beviljade kongressen pengar till DOE för ett program om grundläggande forskning på ett acceleratordrivet system för transmutation av civilt kärnavfall. Forskningen inom programmet har engagerat nationella laboratorier, universitet och privata industrier. Den omfattar bl.a. forskning på olika kärnbränslen, separationsteknik, kylmedel och material.

Ett nytt program (Spent Fuel Pyroprocessing and Transmutation) startades av DOE 2002 med en budget på M\$ 77, som fokuserar på utveckling av teknik för separation med pyrokemi och transmutation av minoritetsaktiniderna. Forskningen inom detta program bedrivs huvudsakligen vid Argonne National Laboratory.

För budgetåret 2004 ansöker DOE om M\$ 63 till ett program "Advanced Fuel Cycle Initiative" som är en fortsättning på det tidigare programmet "Spent Fuel Pyroprocessing and Transmutation". Programmet syftar till att utveckla teknologier för att

reducera mängden och radiotoxiciteten hos utbränt reaktorbränsle och att samtidigt minska den långsiktiga risken för spridning av plutonium. Programmet är i samklang med programmet för utveckling av fjärde generationens kärnreaktorer.

Los Alamos National Laboratory

Forskning på separation och transmutation startades i slutet på 80-talet vid Los Alamos National Laboratory bekostad av interna medel. Forskningen inriktades på acceleratordrivna system med saltsmältor (beryllium- och litiumfluorider) där saltsmältan fungerar som kylmedel i vilket avfallsbränslet är löst. En vidareutveckling av denna typ av system erbjuder idag upphovsmannen till detsamma, Dr C. Bowman, från sitt privata företag ADNA corp., sedan laboratoriet övergett konceptet som huvudalternativ för transmutation. Laboratoriet fick istället uppdrag av DOE att utveckla en acceleratorbaserad anläggning för produktion av tritium. Inom detta projekt, som idag också är nedlagt, utvecklades en injektor till en mycket kraftfull accelerator. Injektorn är den del av en sådan accelerator som bereder de största teknologiska problemen. Forskning kring denna injektor, på strålskador i material och på bly/vismut-smältor utgör idag laboratoriets bidrag till DOE:s program på transmutation.

Argonne National Laboratory

Argonne National Laboratory har inom DOE:s program ansvar för utveckling av pyrokemi för separation av transuraner och klyvningsprodukter. Vidare ingår ett program för utveckling av bränsle till ett acceleratorbaserat transmutationssystem vad beträffar såväl tillverkning som olika tester av bränslet.

General Atomics

En termisk, eller rättare sagt ”nära termisk”, reaktor har föreslagits av en grupp vid General Atomics för förbränning i ett steg av den högaktiva delen av det använda kärnbränslet. Endast uran separeras från det använda kärnbränslet. Reaktorn är kyld med heliumgas och har en neutronenergimoderator av grafit (Modular Helium Reactor, MHR). Bränslet utgörs av små kulor (TRISO-kulor) där en mindre mängd av det använda bränslet omges av en kraftig sfär av ett keramiskt material som tål mycket höga stråldoser. Efter ca två års bestrålning beräknas 80 % av det använda bränslet vara transmuterat. Kulorna lämpar sig väl för en därpå följande geologisk deponering.

8.4.3 Forskning i Japan

Det japanska parlamentet har tagit ett beslut i maj 2000 att det använda kärnbränslet med eller utan föregående transmutation skall placeras i ett geologiskt förvar, som skall stå färdigt för användning någon gång mellan år 2030 och 2040. Samtidigt pågår omfattande forskning på separation och transmutation av använt kärnbränsle för att kunna dra nytta av de energi- och materialmässigt intressanta innehållena i det använda bränslet (Jeju 02).

I Japan startades 1988 ett program för att utveckla teknik och metoder för optimal användning av använt kärnbränsle – kärnavfall (Options Making Extra Gains from Actinides and fission products, OMEGA). Första fasen av programmet, som syftade till att utvärdera olika koncept och bedriva forskning och utveckling på nyckelteknologier, är avslutad.

Fas två av det långsiktiga forskningsprogrammet OMEGA avser separation och transmutation och skall slutrapporteras 2005. Arbetet inom denna fas av programmet omfattar teknisk forskning och demonstration av några nyckelteknologier för transmutation. Vidare har anslag beviljats (M\$ 1800) för att bygga en kraftfull accelerator (Japan Proton Accelerator

Research Complex, J-PARC) i samarbete med universitetet i Kyoto. Acceleratorn skall användas för universitetsanknuten grundläggande kärnfysikalisk forskning och för forskning på transmutation. För den senare forskningen byggs två experimentutrustningar vid acceleratoren, den ena för strålskadestudier på material och den andra för studier av kopplingen mellan en accelerator och en underkritisk reaktor. Acceleratoranläggningen beräknas tas i drift under 2008. Under fas två av OMEGA satsas också på forskning och utveckling av separationsteknik både med vattenkemi och genom pyroprocesser.

8.4.4 Forskning i Sydkorea

Sydkorea har för närvarande 16 kärnkraftreaktorer i drift med en kapacitet på 12,9 GWe och fyra under uppförande. Fram till slutet av 2001 hade 5 300 ton använt kärnbränsle ackumulerats. Tre olika sätt att ta hand om det använda bränslet studeras och tills vidare mellanlagras detta i anslutning till reaktorläggningarna. De tre metoderna som studeras är direkt deponering i ett geologiskt förvar, förbränning av avfallet i en tungvattenreaktor av kanadensisk typ (CANDU-reaktor) samt separation och transmutation. Separationen görs med användning av pyroprocesser och följs av förbränning i en snabb reaktor eller i ett acceleratordrivet system.

Sydkoreas forskningsinstitut för atomenergi (The Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI) bygger en storskalig testanläggning för accelerator driven transmutation (Hybrid Power Extraction Reactor, HYPER) (Jeju 02). Den underkritiska reaktorn kommer att få en effekt på 1000 MWth, och är den mest kraftfulla testanläggningen i världen för accelerator driven transmutation. Fas två av HYPER projektet skall enligt planerna avslutas 2004 och omfattar test av nyckelteknologier, analys av acceleratorreaktor integrerade system och utveckling och test av beräkningsprogram. Fas tre av projektet, som skall leda fram till slutgiltiga konstruktionsritningar för HYPER

systemet, skall pågå under åren 2005–2007. Anläggningen skall enligt planerna producera både snabba neutroner för transmutation av transuraner och termiska neutroner för transmutation av fissionsprodukter. Parallellt med konstruktion och bygge av HYPER sker forskning och utveckling av pyroprocesser för separation av de långlivade radioaktiva ämnena i det använda kärnbränslet.

8.4.5 International Atomic Energy Agency (IAEA)

President Putin deklarerade vid FN:s toppmöte i New York den 6 september 2000 att tillräckligt med elkraft måste produceras globalt för att erbjuda mänskligheten en uthållig utveckling. Kärnkraft har en roll i detta sammanhang framhöll han, men en lösning måste ges på problemet med kärnvapenspridning som är förknippad med denna kraftkälla. Som ett resultat av detta utspel initierade FN:s atomenergiorgan i Wien (International Atomic Energy Agency, IAEA) ett program i syfte dels att utveckla kärnkraftsteknik som inte kräver eller producerar vapenmaterial och dels att studera teknologier för att förbränna (transmutera) långlivat använt kärnbränsle. Programmet (INPRO) startades i maj 2001 och har 16 medlemmar från 14 olika länder och internationella organisationer. Sverige deltar inte i detta program.

För övrigt arrangerar IAEA ett flertal internationella forskningsprogram (Coordinated Research Programmes [CRP:s]), specialismöten och en databas för forskning med anknytning till acceleratordriven transmutation.

8.4.6 OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA)

Två kommittéer inom OECD/NEA (Nuclear Development och Nuclear Science kommittéerna) har tillsammans med NEA:s Data Bank startat ett antal tekniska och strategiska studier gällande separation och transmutation. Bl.a. har en expertgrupp

bestående av 37 experter från 15 medlemsländer publicerat en jämförande studie mellan acceleratordrivna system och snabba reaktorer för transmutation (NEA 02).

OECD/NEA arrangerar i samarbete med IAEA och EU en serie möten om separation och transmutation av aktinider och klyvningsprodukter (Information Exchange Meetings on Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation). Det sjunde mötet i serien hölls den 14–16 oktober 2002 på Jeju i Sydkorea (Jeju 02).

8.4.7 Svensk medverkan i den internationella forskningen

Den svenska forskningsinsatsen på separation och transmutation grundar sig på det intresse som forskargrupper vid Chalmers Tekniska Högskola (CTH), Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) och Uppsala Universitet visat forskningsområdet (SKI 03). Forskargruppernas ämnesinriktningar kompletterar varandra så att en relativt god täckning erhållits av de teknikområden som är aktuella för separation och transmutation. Inriktningen på forskningen vid CTH är kärnkemi, vid KTH reaktor fysik och vid Uppsala Universitet grundläggande kärnfysikaliska data. Forskningen på transmutation har också medfört att ett ökat antal forskarstuderande har lockats till den kärntekniska utbildningen.

En forskargrupp från Los Alamos National Laboratory (LANL), USA presenterade vid ett symposium i Italien 1990 ett koncept på acceleratordriven transmutation av kärnavfall, som kom att utgöra startskottet för den svenska forskningen på området. Sverige svarade sedan positivt på en förfrågan från samma forskargrupp vid LANL om Sverige kunde stå som värd för ett specialistmöte om transmutation under 1991 (KAS 92). Till mötet, som anordnades i Saltsjöbaden av dåvarande Statens kärnbränslenämnd i samarbete med LANL, inbjöds speciellt forskare, förutom från USA och Sverige, också från Ryssland. Man enades vid detta möte att stödja och vägleda ryska forskar-

grupper som har en unik kompetens inom flera forskningsområden av relevans för transmutationsforskningen i deras ansökningar om ekonomiskt stöd för denna typ av forskning till det då nyuppsatta centrum "International Science and Technology Centre (ISTC)" i Moskva (se avsnitt 8.4.2). Detta ledde till att nämnda forskargrupper från CTH, KTH och Uppsala Universitet kom att engagera sig i flera ryska projekt om transmutation där några specificeras under beskrivningen nedan av pågående forskning vid respektive högskola. Ett finansiellt stöd, främst för resor, utgick till högskolegrupperna under åren 1996-2002 från Statens Kärnkraftinspektion (SKI) för att sköta och rapportera om kontakten med de ryska grupperna (SKI 03).

Forskargrupperna vid CTH, KTH och Uppsala Universitet har samverkat informellt. Sålunda sökte grupperingen ekonomiskt stöd från Stiftelsen för Strategisk Forskning för att bilda ett svenskt centrum för transmutationsforskning. Ansökan avslogs efter en längre tids behandling. Grupperna arrangerade gemensamt den andra internationella konferensen om acceleratordriven transmutationsforskning i Kalmar 1996 med 217 deltagare från 23 länder och fyra internationella organisationer (Kal 96).

Tidigt engagerade sig grupperna från CTH, KTH och Uppsala Universitet i separations- och transmutationsforskningen inom EU:s ramprogram. Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) och Svenskt Kärntekniskt Centrum, KTH stöder också transmutationsforskning vid nämnda högskolegrupper med ett årligt belopp av omkring 6 miljoner kronor (SKB 04). Dessa stödjande organ framhåller som motiv för det ekonomiska stödet till transmutationsforskningen dels kunskapsuppbyggnaden för att kunna bevaka utländsk forskning och dels sidoeffekten att utbilda kvalificerade kärntekniker till svenska myndigheter och kärnkraftindustrin. SKB bevakar speciellt svensk medverkan i separations- och transmutationsprojekt inom EU:s ramprogram och sedan 2003 också i ISTC-projekt med samma forskningsinriktning.

Chalmers Tekniska Högskola

Avdelningen för kärnkemi deltar i ett EU-projekt (PARTNEW) inom femte ramprogrammet. Bidraget från avdelningen är främst att utveckla vattenkemiska metoder att separera de tyngsta transuranerna, americium (Am) och curium (Cm) från det högaktiva avfallet. Separationen sker i steg där först Am/Cm separeras tillsammans med en grundämnesgrupp kallad lantaniderna. I ett andra steg separeras Am/Cm från lantaniderna för vilken process CTH -gruppen har studerat olika extraktionskemikalier med målsättningen att också minimera avfallsströmmarna. Man har också med stöd från SKB studerat möjligheterna att separera transuranen neptunium och de långlivade klyvningsprodukterna teknetium och jod i anslutning till den process (PUREX) som används vid de kommersiella separationsanläggningarna i Frankrike och England för separation av plutonium från använt kärnbränsle.

Kungliga Tekniska Högskolan

Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) beslöt 2001 att sätta upp ett centrum (CEKERT) för utbildning och forskning på kärnenergiteknologi omfattande avdelningarna för kärn- och reaktorfysik, reaktorteknologi, reaktorsäkerhet och kärnkemi. Inom avdelningen för kärn- och reaktorfysik tillsattes 2001 en professur i reaktorfysik med transmutation. Innehavare av professuren är W. Gudowski. Prof. Gudowski har och har haft ett stort antal förtroendeuppdrag knutna till den internationella transmutationsforskningen. Han har anlitats som rådgivare i forskningsfrågor av US Department of Energy (DOE), Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA), Frankrike, Russian Ministry of Atomic Energy (MINATOM), Moskva, Korean Atomic Energy Research Institute (KAERI), Sydkorea, European Commission (EU), Bryssel, International Atomic Energy Agency (IAEA), Wien m.fl.

Vid avdelningen för kärn- och reaktorfysik bedrivs flera forskningsprojekt inom EU:s femte ramprogram och med ekonomiskt stöd från SKB och Svenskt Kärntekniskt Centrum. Avdelningen leder ett EU-projekt (CONFIRM) att utveckla och bestråla bränsle för transmutation av transuraner. Bestrållningen skall ske i R2-reaktorn i Studsvik. Strålskadestudier på speciella stålsorter bedrivs inom EU projekten SPIRE och MUSE. Tillsammans med Avdelningen för reaktorsäkerhet deltar också Avdelningen för kärn- och reaktorfysik i de preliminära studierna inom ett EU-projekt (PDS-XADS) avseende ett acceleratordrivet system. En provkrets för flytande bly/vismut har också byggts vid avdelningen för kärnkraftsäkerhet för forskning i anslutning till ett EU-projekt (TECLA)

Som nämnts under avsnitt 8.4.1 – EU finansierade projekt – är W. Gudowski koordinator för ett projekt inom sjätte ramprogrammet som syftar till att utvärdera inverkan av nya teknologier, speciellt transmutation, på geologiska förvar både vad beträffar ekonomi och radiologiska aspekter. Projektet (Impact of Partitioning, Transmutation and Waste Reduction Technologies on the Final Nuclear Waste Disposal) rymmer 20 partners från ledande organisationer och forskningsinstitutioner i Europa. Icke tekniska faktorer och icke tekniska frågeställningar kommer också att behandlas inom projektet liksom förmedling av resultat till allmänheten.

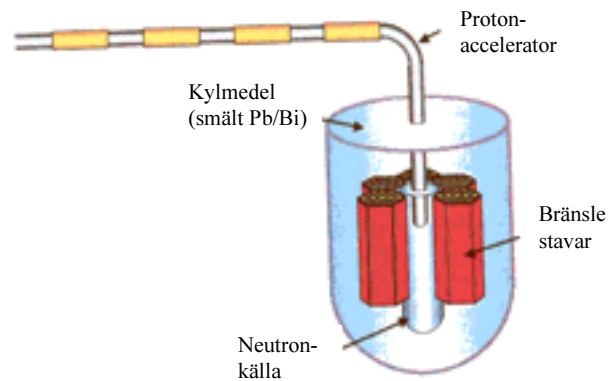
Aspekterna på allvarliga olyckor i transmutationsanläggningar har studerats i samarbete med EURATOM:s forskningscentrum i Ispra, Italien och universitetet i Bilbao, Spanien.

Avdelningen för kärn- och reaktorfysik deltar också i ett antal ryska projekt där den ryska forskningsinsatsen finansieras av "International Science and Technology Centre (ISTC)", Moskva. Speciellt har avdelningen engagerat sig i det tidigare omnämnda projektet vid Institute of Physics and Power Engineering (IPPE), Obninsk, som gällde konstruktion och tillverkning av en prototyp till en intensiv neutronkälla för drift av en underkritisk reaktor i ett acceleratordrivet transmutations-system (beskrivet under rubriken *Ryssland* i avsnitt 8.4.1)

Prof. Gudowski är ordförande i experimentkommittén och svenska forskare är inbjudna att delta i forskningsarbetet med utrustningen.

Bland övriga ISTC projekt som avdelningen för kärn- och reaktorfysik deltar i kan nämnas experimentella studier av salt-smältereaktorer i ett acceleratordrivet system för transmutation av civilt radioaktivt kärnavfall och militärt plutonium vid Institute of Technical Physics (VNIITF), Snezhinks, Tjeljabinsk-regionen. Vidare pågår konstruktion av ett underkritiskt system drivet av en accelerator för studium av kopplingen mellan dessa två komponenter i ett acceleratordrivet transmutations-system vid Joint Institute for Nuclear Research (JINR), Dubna. Därutöver deltar Avdelningen också i projekt i syfte att bygga upp och testa databas och beräkningsprogram för transmutation samt i studier av materialfrågor i samband med transmutation.

Omfattande teoretiska studier har också gjorts av ett acceleratordrivet system med flytande bly/vismut som kylmedel för transmutation av det svenska kärnkraftsavfallet (Wal 01). Den underkritiska reaktorn har en hög andel plutonium i bränslet och s.k. brännbara absorbatörer för att få en jämn utbränning över härden. En studie har också gjorts av kostnaderna för separation och transmutation för att identifiera de delar av systemet som bestämmer kostnaderna i stort (Wes 01). En uppskattning har också gjorts av produktionskostnaden för elkraft genererad av kärnkraftreaktorer som innehåller ett acceleratordrivet system för transmutation av det använda kärnbränslet. En del resultat från denna studie presenteras under avsnitt 8.5.



Figur 8.8. Schematisk bild av transmutationsanläggning för det svenska använda kärnbränslet enligt studier vid institutionen för kärn- och reaktorfysik vid KTH (ref. Wal 01).

Uppsala Universitet

Verksamheten vid Uppsala Universitet är i huvudsak inriktad på mätningar av kärnfysikaliska data för transmutation. Arbetet bedrivs vid Institutionen för Neutronforskning (INF) och finansieras sedan juli 2002 gemensamt av SKB, SKI, FOI (Totalförsvarets forskningsinstitut) och Ringhalsverket/Barsebäck Kraft AB. Det fyraåriga projektet rymmer två forskarstuderande. Det följer på ett likaledes fyraårigt projekt, som drevs under 1998-2002 med samma finansörer, och som bl.a. resulterade i två doktorsarbeten.

Den experimentella forskningen bedrivs vid The Svedberg Laboratoriet's (TSL's) cyklotron och fokuseras på studier av neutronspridning i olika material av intresse för den accelerator-drivna transmutationstekniken. INF deltar också i ett EU-projekt inom femte ramprogrammet med målsättningen att till-

godose behovet av kärnfysikaliska data för acceleratordrivna transmutationssystem. I projektet som rubriceras ”High and Intermediate Energy Nuclear Data for Accelerator-Driven Systems, HINDAS” deltar 16 laboratorier från sju länder. Experimentgrupper från Tyskland och Frankrike som deltar i HINDAS projektet bedriver sina experiment vid TSL i samarbete med INF.

En forskargrupp från Khlopin Radium Institute, S:t Petersburg har vid TSL mätt klyvningstvårsnitt (sannolikheten för att klyvning skall ske) av betydelse för acceleratordriven transmutation i samarbete med INF och med finansiellt stöd från ISTC. Likaså med stöd från ISTC planeras experiment vid TSL av en grupp från Institute for Theoretical and Experimental Physics, ITEP, Moskva för att bestämma kärnfysikaliska egenskaper hos material av intresse för transmutation av reaktoravfall.

Vetenskapsrådet beslöt under 2002 att upphöra med det ekonomiska stödet till två nationella laboratorier, nämligen The Svedberg Laboratoriet i Uppsala och Manne Siegbahn Laboratoriet i Stockholm. Beslutet motiveras av budgetskäl. För att de omkring 50 forskarstuderande som är beroende av TSL skall kunna fullfölja sina doktorsarbeten har en överenskommelse träffats mellan Uppsala Universitet och Vetenskapsrådet om en successiv neddragning av rådets 50 % bidrag till driften av laboratoriet över en treårsperiod. Samtidigt undersöks möjligheterna att även fortsättningsvis finna finansiärer till den tillämpade forskningen vid laboratoriet. Vid TSL finns unika möjligheter att bedriva forskning på acceleratordriven transmutation varför en nedläggning av laboratoriet skulle träffa den inhemska forskningen på detta område mycket hårt.

8.5 Scenarier

8.5.1 Komponenter i transmutationssystemet

Huvudkomponenterna i ett transmutationssystem enligt tvåstegsprincipen är följande, som framgår av beskrivningen i avsnitt 8.2.5 *Tekniska alternativ*:

1. Kärnkraftverk som svarar för en stor del av landets elproduktion. Det kan t.ex. vara konventionella kärnkraftverk av den typ som vi för närvarande har i Sverige, men även nyare typer av reaktorer, som också fungerar som transmutationsanläggningar (se även punkt 5 nedan);
2. Upparbetningsanläggning där det använda kärnbränslet från kärnkraftverken behandlas på kemisk väg;
3. Bränslefabrik där s.k. MOX-bränsle tillverkas för kärnkraftverken;
4. Bränslefabrik där bränsle för transmutationsanläggningar tillverkas. Detta bränsle innehåller förutom plutonium även de övriga transuraner som man önskar transmutera;
5. Transmutationsanläggningar där det plutonium som inte längre kan återföras till nytt MOX-bränsle för termiska reaktorer samt övriga transuraner och klyvningsprodukter transmuteras. I vissa fall kan klyvningsprodukterna transmuteras genom bestrålning i termiska reaktorer eller deponeras som avfall direkt i t.ex. ett geologiskt slutförvar;
6. Separationsanläggning enligt pyrokemiska metoden för bestrålat bränsle från transmutationsanläggningarna;
7. Mindre geologiskt slutförvar för vissa ämnen som man ej lyckas transmutera samt för restströmmar av högaktivt avfall från separationsprocesserna.

För transmutation enligt enstegsprincipen bortfaller de tre översta punkterna i ovanstående lista och ersätts med en enda separationsanläggning enligt punkt 6, där i så fall allt bestrålat bränsle behandlas, alltså även det från de konventionella kärnkraftverken.

8.5.2 Tre scenarier

För att på ett mer åskådligt sätt beskriva hur transmutation skulle kunna tänkas tillämpas i ett svenskt framtida energisystem, diskuteras i detta avsnitt tre olika scenarier. Dessa har valts så att de spänner över en stor variation, men är inte på något sätt heltäckande. De tre transmutationsscenarierna är

- A: Ett system där vi inom landet själva skaffar alla de resurser som krävs, utan att förlita oss på från utlandet inköpta tjänster;*
- B: Ett system där vi i Sverige utnyttjar den teknik och de resurser som utvecklats inom de ledande och tongivande kärnkraftsländerna;*
- C: En medelväg där vi skickar vårt använda kärnbränsle för separation och bränsletillverkning utomlands och sedan själva inom landet utför transmutation av det material som vi fått tillbaka från separationsanläggningen.*

Scenario A och C förutsätter en fortsatt satsning på kärnkraften i Sverige, medan scenario B möjligen skulle kunna tillämpas även i kombination med en avveckling av kärnkraften i Sverige.

Scenario A: Ett helsvensket system för transmutation

Man kan föreställa sig olika varianter av ett framtida svenskt kärnenergisystem.

Ett alternativ (tvåstegsprincipen) kan vara att fortsätta med termiska reaktorer, mer eller mindre av den typ som vi nu har (punkt 1 i komponentlistan i avsnitt 8.5.1), tillsammans med en eller ett fåtal transmutationsanläggningar (punkt 5) baserade på snabba underkritiska system. Då bränner man huvuddelen av sitt plutonium som MOX-bränsle i de ”vanliga” reaktorerna, medan resterande plutonium och övriga transuraner tas om hand i transmutationsanläggningarna. Detta alternativ kräver en uppberedningsanläggning (punkt 2) samt en bränslefabrik (punkt 3) där

MOX-bränslet för kärnkraftverken tillverkas. Dessutom krävs en separationsanläggning (punkt 6) baserad på pyrokemi för bestrålat bränsle från transmutionsanläggningarna samt en bränslefabrik där bränsle för transmutionsanläggningarna tillverkas (punkt 4). Klyvningsprodukterna, utom vissa långlivade sådana som transmutteras, går direkt till slutförvaring (punkt 7) liksom även vissa resterande högaktiva avfallsströmmar som uppstår genom att separationsprocesserna inte är hundra procentigt effektiva.

Ett annat alternativ (enstegsprincipen) är att separera plutonium och övriga transuraner från det använda bränslet i en separationsanläggning (punkt 6) baserad på pyrokemi. Bränsle bestående av plutonium och övriga transuraner tillverkas i en bränslefabrik (punkt 4) från vilken bränslet sedan går till transmutionsanläggningar (punkt 5). Liksom i föregående alternativ går klyvningsprodukterna, utom vissa långlivade sådana, till slutförvaring (punkt 7). Anläggningarna för upparbetning (punkt 2) och tillverkning av MOX-bränsle (punkt 3) behövs då inte.

Uppskattningar som gjorts antyder att en enda transmutionsanläggning skulle klara av att ”hålla rent” efter ca sju ”vanliga” reaktorer om plutonet återförs i de senare enligt tvåstegsprincipen medan motsvarande kapacitet enligt enstegsprincipen är fem ”vanliga” reaktorer. Transmutionsanläggningen producerar samtidigt ca 500 MW el, men av detta förbrukar anläggningen själv ca 40 MW för driften av acceleratoren. Vill man snabbare ”beta av” förrådet av använt kärnbränsle som genom åren byggts upp i CLAB, behövs ytterligare någon eller några transmutionsanläggningar.

Scenario B: Ett system där vi i Sverige helt förlitar oss på den teknik och de resurser som utvecklats inom de ledande kärnkraftsländerna

I detta scenario föreställer vi oss att inga egna anläggningar byggs i Sverige för någon del av transmutationsprocessen. Alla tjänster köps från utlandet. Man kan då belysa två helt olika fall, ett med fortsatt drift av termiska reaktorer i våra kärnkraftverk och ett annat där kärnkraft inte längre används i landet.

Scenario B1: Fortsatt drift av termiska reaktorer

Om vi fortsätter att använda våra termiska reaktorer alternativt bygger nya av motsvarande typ, kan vi skicka vårt använda kärnbränsle till upparbetning utomlands, få tillbaka plutoniet i form av MOX-bränsle som vi använder i våra egna reaktorer och som därefter på nytt skickas utomlands för upparbetning osv. Transmutation av transuraner och klyvningsprodukter sker utomlands och den rest som måste tas om hand för slutförvaring återsänds till oss, där den placeras i ett geologiskt slutförvar. Kraven på detta förvar, vad gäller volym och skydd i ett mycket långt tidsperspektiv är då väsentligt mindre än motsvarande för det slutförvar för använt kärnbränsle som man nu planerar för. I Sverige behövs då endast anläggningar motsvarande punkt 1 och 7 i listan. För den övriga hanteringen förlitar vi oss till tjänster som kan köpas i anläggningar utomlands.

Man kan säga att denna variant delvis motsvarar den hante-ringsprincip som gällde i början av det svenska kärnkrafts-programmet, då vårt använda kärnbränsle skickades utomlands för upparbetning. Plutonium och upparbetningsavfall skulle därefter tas tillbaks till Sverige.

Scenario B2: Ingen fortsatt kärnkraftproduktion i Sverige

I detta fall har vi ingen möjlighet att själva använda det plutonium som utgör en stor del av den långlivade radioaktiviteten i det använda kärnbränslet. Detta måste då exporteras och all transmutation ske utomlands. Den enda insats vi själva kan stå för att – liksom i det första alternativet – ta hand om restavfallet och placera det i ett slutförvar i Sverige (punkt 7 i listan).

I scenario B1 kan det fortfarande anses att vi någorlunda väl lever upp till principen att vi själva skall ta hand om vårt eget kärnavfall, dock inte i scenario B2. Vi kan givetvis inte heller tvinga något annat land att hjälpa oss med vårt kärnavfall på sätt som beskrivits här. Dock står det olika länder fritt att frivilligt träffa avtal om samarbete och handel med tjänster inom detta område, om de så skulle önska. En viktig komplikation är att vi i scenario B2 måste lämna ifrån oss allt vårt plutonium. En sådan affär måste givetvis vara kringgärdad med rigorösa säkerhetsbestämmelser, för att vi skall kunna försäkra oss om att materialet under inga omständigheter kan komma på avvägar.

Scenario C: Separation och bränsletillverkning utomlands, transmutation i Sverige

Som en medelväg mellan scenarierna A och B kan man tänka sig ett system där vi skickar det använda kärnbränslet utomlands för upparbetning och får tillbaka MOX-bränsle för våra termiska reaktorer och ADS-bränsle för våra transmutationsanläggningar. Vad gäller beståndet av reaktorer (punkt 1), inkl. transmutationsanläggningar (punkt 5), förutsätts situationen vara ungefär densamma som i scenario A. Några svenska anläggningar för upparbetning av bränslet från lättvattenreaktorerna (punkt 2), resp. från transmutationsanläggningarna (punkt 6) behöver inte byggas, ej heller bränslefabriker för tillverkning av MOX-bränsle (punkt 3) och ADS-bränsle (punkt 4). Geologiskt slutförvar behövs liksom i övriga scenarier (punkt 7).

I detta scenario skulle man kunna hävda att vi själva tar hand om vårt kärnavfall, eftersom vi – precis som i scenario 1 – bränner huvuddelen av plutoniet i våra termiska reaktorer, transmuterar övrigt plutonium och andra transuraner i våra transmutationsanläggningar och tar hand om fissionsprodukter och övriga restströmmar för deponering i ett slutförvar inom landet.

8.5.3 Kostnader

Försök till vissa kostnadsuppskattningar för ett acceleratordrivet transmutationssystem har bl.a. gjorts i ett examensarbete vid KTH (Wes 01). Dessa uppskattningar baseras på försök att bedöma kostnaden för varje steg i hanteringen och därefter summera ihop de olika posterna. Det bör hållas i minnet att en del kostnadsposter gäller moment som avser oprövad teknik och att därför någon mer exakt kunskap om kostnaderna inte finns tillgänglig. När det gäller oprövad teknik har man – i brist på bättre metod - använt ett schablonmässigt sätt att beräkna hur kostnaden för ny teknik brukar utvecklas i takt med att tekniken blir alltmer beprövad. Det bör även noteras att kostnaderna hänför sig till en verksamhet som bedrivs i tillräckligt stor skala för att vara ekonomiskt rimlig.

Elproduktionskostnaden för ett system där bränslet bara används en gång (som i det nuvarande svenska systemet) och därefter slutdeponeras utan upparbetning har som jämförelse beräknats till ca 20 öre/kWh medan motsvarande siffra för ett transmutationssystem enligt tvåstegsprincipen beräknas bli ca 27 öre/kWh. För ett system som bygger på enstegsprincipen, dvs. utan MOX-återföring i termiska reaktorer, där de termiska reaktorerna körs på anrikat uran liksom nu och där all transmutation sker i ADS-anläggningar, skulle kostnaden bli ca 30 öre/kWh. I examensarbetet ges beloppen i USA-dollar. Här har använts en omräkningskurs på 8 kronor/dollar. I uppskattningen ingår kostnaden för

- lättvattenreaktorbränslet;
- kapitalkostnaden för lättvattenreaktorerna;
- drift och underhåll av lättvattenreaktorerna;
- tillverkning och upparbetning av ADS-bränslet;
- kapitalkostnaden för ADS-anläggningarna;
- drift och underhåll av ADS-anläggningarna;
- avfallsdeponeringen.

Några produktionsskatter, avgifter till ev. kärnavfallsfonder eller dylikt har inte inkluderats i kalkylen.

I examensarbetet dras också slutsatsen att även om produktionskostnaden för kärnkraft med de system som inkluderar ADS-transmutation blir dyrare än grundfallet (med direktdeponering av det använda kärnbränslet) så är elproduktionskostnaden fortfarande konkurrenskraftig med många av de alternativa kraftproduktionstekniker som står till buds (exempelvis billigare än naturgasdrivna gasturbiner, vindkraftverk och bioenergibaserad kraftvärme; dyrare än kol- eller naturgaseldad kondenskraft).

Grovt räknat tyder dessa kalkyler alltså på att avfallskostnaden i ett kärnkraftssystem med transmutation skulle hamna på ca 30 % av den totala elproduktionskostnaden. Denna siffra kan jämföras med motsvarande för KBS-3-systemet som är ca 5%.

8.5.4 Diskussion av scenarierna

En del av anläggningarna som listats i avsnitt 8.5.1 bygger på relativt väl utvecklad teknik och finns redan. Andra befinner sig på forsknings- eller utvecklingsstadiet.

Sålunda är t.ex. upparbetning av konventionellt reaktorbränsle (punkt 2) och tillverkning av MOX-bränsle (punkt 3) relativt väl etablerade tekniker med fungerande anläggningar (utomlands). Slutförvarsteknik (punkt 7) är under utveckling internationellt med Sverige som ett av de ledande länderna.

När det gäller att tillverka plutoniumbaserat bränsle – som dessutom skall innehålla ytterligare kraftigt radioaktiva transuraner – krävs anläggningar med kraftiga strålskydd och en särskild tillverkningsteknik (punkt 4 och punkt 6). Bränslet för transmutationsanläggningen har också rent fysiskt en annan form än vårt traditionella bränsle för lättvattenreaktorerna, t.ex. klenare dimension. Bränsletillverkning för transmutationsanläggningar kräver därför en särskild fabrik eller åtminstone en särskild tillverkningslinje. En sådan bränsletillverkning måste också rimligen även ske i en viss minsta skala för att hanteringen skall bli ekonomiskt försvarbar. Att bygga en sådan tillverkningslinje enbart för att förse ett färre antal svenska transmutationsanläggningar med bränsle förefaller inte vara en rimlig lösning. En sådan anläggning skulle dock kunna bli aktuell antingen vid en satsning på fortsatt användning av kärnkraft i Sverige eller om anläggningen även kan betjäna en tillräckligt stor utlandsmarknad. Någon färdigutvecklad teknik för tillverkning av sådant bränsle finns ännu inte att tillgå, men utvecklingsinsatser pågår i ett flertal länder. Ur ett transportperspektiv vore det givetvis en stor fördel om tillverkningen av detta speciella bränsle, avsett för transmutationsanläggningar, kan ske i direkt anslutning till separationsanläggningen.

Transmutationsanläggningar enligt punkt 5 är under utveckling på olika håll i världen som framgår av avsnitt 8.4. Uppenbart blir det i de ledande kärnkraftsländerna som utvecklingen kommer att ske. Det återstår ännu att visa att den föreslagna tekniken går att göra tillförlitlig och ekonomisk.

Generellt kan man säga att alla resonemang om transmutation av vårt kärnavfall bygger på att kärnkraften får en fortsättning. Transmutationsanläggningar måste även få producera elkraft för att man skall få rimlig ekonomi på transmutationen av avfallet.

Den beskrivning av transmutationstekniken som ges i detta kapitel får anses vara präglad av ett relativt optimistiskt synsätt vad gäller tekniken och dess utveckling. Detta är svårt att undvika när man beskriver ny teknik under utveckling.

Om man vill göra en jämförelse mellan transmutation och det system med direktdeponering som vi för närvarande planerar för i Sverige så bör man hålla i minnet att man jämför två tekniker som befinner sig på olika utvecklingsstadier och att jämförelsen därför kan bli haltande. Även om inte slutförvarstekniken till alla delar heller är färdigutvecklad, så har man dock ett bättre grepp om denna än om transmutationen.

Transmutation av det använda kärnbränslet innebär en omfattande hantering. Det använda bränslet behandlas i en rad kemiska processer, nytt bränsle tillverkas, bestrålas, upparbetas på nytt osv. Detta medför att personalen som arbetar med processerna kommer att utsättas för radioaktiv strålning. Det är inte fråga om ohanterligt höga doser men faktum kvarstår att människor kommer att kunna exponeras för större stråldoser än i det ”svenska systemet”, med direktdeponering i ett slutförvar djupt nere i berggrunden. Transmutationsprocessen innebär även större risk för ökade utsläpp av radioaktiva ämnen till den yttre miljön. Detta kan i sin tur leda till att människor och andra arter utanför anläggningen kommer att exponeras för förhöjda stråldoser. Fördelen med direktdeponering, jämfört med ett omhändertagande som är baserat på transmutation, är att det använda bränslet kommer att hanteras väl inneslutet i kapslar, som effektivt förhindrar strålning och utsläpp av radioaktiva ämnen, såväl i slutförvaret som till den yttre miljön, i samband med deponeringens genomförande.

En synpunkt som förts fram av förespråkare för transmutationstekniken är att plutoniet i ett slutförvar för använt kärnbränsle efterhand blir ett allt bättre vapenmaterial, eftersom halten av plutonium-239 ökar i takt med att tyngre plutoniumkärnor sönderfaller radioaktivt. Förvaret skulle därmed vara intressant, menar man, för t.ex. terrorister som vill tillskansa sig vapenmaterial. Det bör dock hållas i minnet att det inte är rent plutonium som finns i förvaret. Fortfarande behöver materialet upparbetas för att skilja plutonium från rest-uran m.m. Detta torde dock vara möjligt i en liten anläggning och skulle därför – åtminstone i princip (vilket även gäller för småskalig anrikning

av uran) – kunna vara ett sätt för terrorister att få tillgång till klyvbart material, som kan användas i kärnladdningar.

Frågan om vilken metod som är att föredra – direktdeponering eller transmutation – ur aspekten icke-spridning av material som kan användas för vapenändamål kan dock inte entydigt och generellt besvaras. Svaret beror på vilket system man mer precist diskuterar. Separation av plutonium ur använt bränsle med avsikt att tillverka MOX-bränsle (vilket ingår i tvåstegsprincipen ovan) innebär att plutonium i en form som kan vara lämplig, åtkomlig och hanterbar för vapenändamål förekommer i hanteringskedjan. Det kan då trots allt förefalla bättre – ur denna aspekt – att slutförvara det använda kärnbränslet direkt.

Om man, å andra sidan, väljer enstegsprincipen kan man behandla det använda bränslet i en separationsanläggning där man tar bort uranet och låter allt plutonium följa med i samma ström som övriga transuraner. Denna produkt, som sedan får utgöra råvara för bränsletillverkning till transmutationsanläggningarna, är betydligt mindre lämpad som vapenmaterial och därtill betydligt svårare att hantera utan avancerad utrustning. Plutonium i lämplig form blir då alltså inte tillgängligt varken i den tidigare delen av hanteringen eller i slutförvaret.

Vid utvecklingen av den fjärde generationens reaktorer (se t.ex. avsnitt 8.4.2), lägger man också särskild vikt vid att bl.a. optimera icke-spridningsaspekter och miljöaspekter.

Vad gäller resursutnyttjandet, dvs. hur jordskorpans och världshavens samlade förråd av uran utnyttjas, har det ofta påpekats att våra nuvarande reaktorer endast utnyttjar en ringa del av uranets energinnehåll och att man vid direktdeponering av det använda kärnbränslet låter stora energiresurser följa med avfallet direkt till slutförvaret. Detta är förvisso sant, men av skäl som beskrivits ovan (gott om uran till lågt pris, tillgång till stora mängder plutonium som kan användas för bränsletillverkning etc.) förefaller detta åtminstone för närvarande inte uppfattas som ett stort problem.

Beträffande transmutationsanläggningar har det också påpekats (ref. Wes 01) att den omfattande hantering av bly som

kan bli aktuell i en transmutationsanläggning skulle kräva en ändring av vår miljölagstiftning.

Kommentar

Som framgår av redovisningen i detta kapitel av kunskapslägesrapporten bygger transmutation av kärnavfall på kärntechniska principer och metoder, som inkluderar användning inte bara av accelerators utan även av kärnreaktorer. Att diskutera hur sådan teknik skulle kunna användas i ett land där man beslutat att avveckla alla kärnkraftverk blir därför en något grannliga uppgift, åtminstone om man föreställer sig att verksamheten skall bedrivas inom landet, eftersom man vill leva upp till föresatsen att vi själva skall ta hand om vårt kärnavfall i Sverige. KASAM har givetvis ingen anledning att i detta sammanhang ifrågasätta de beslut som tagits om kärnkraftens framtid i Sverige. I en diskussion om olika tänkbara sätt att applicera transmutationstekniken på det svenska kärnavfallet måste man dock inkludera scenarier där kärnkraftverk ännu är i drift, antingen sådana av konventionellt slag tillsammans med särskilda transmutationsanläggningar (tvåstegsprincipen) eller också enbart transmutationsanläggningar (enstegsprincipen). De senare är i praktiken kombinerat av kärnavfallsförbränningsanläggningar och kärnkraftverk.

8.6 Avslutande diskussion

Föregående avsnitt innehåller tre scenarier. Dessa är avsedda att visa hur transmutationstekniken på olika sätt skulle kunna användas för att ta hand om det använda kärnbränslet från de svenska kärnkraftverken.

En rad förutsättningar måste uppfyllas för att tekniken skall kunna tillämpas i Sverige.

Förutsättningar

- För att transmutationstekniken skall kunna användas på kärnbränslet från de svenska kärnkraftverken måste den svenska policyn om användning av kärnkraft och slutförvaring av kärnavfall liksom kärntekniklagen ändras, eller så måste Sverige förlita sig på att dessa tjänster finns att köpa utomlands.
- Utveckling av transmutation till en industriell teknik kräver mycket omfattande utvecklingsinsatser under lång tid (cirka 30 år enligt EU:s forsknings- och utvecklingsplan). Utvecklingsarbetet måste därför ske genom internationellt samarbete. Detta gäller även för det svenska forsknings- och utvecklingsarbetet.
- Fyra helt nya typer av kärntekniska anläggningar behöver utvecklas: En accelerator, en reaktor, en upparbetningsanläggning samt en bränslefabrik. Alla dessa måste fungera med stort utbyte (med effektiv separation av kort- och långlivade radionuklider), hög säkerhet för personal och omgivning och till rimliga kostnader.
- Först när prototyper för dessa anläggningar är i drift, om 20–30 år, kan man göra en mera precis bedömning av utbyte, säkerhet, ekonomi, etc. Först därefter är det meningsfullt att ta ställning till om transmutation är intressant att satsa på.
- Transmutationstekniken förutsätter byggandet av minst två reaktorer av ny typ för att klara av att omvandla det svenska kärnavfallet under en rimligt lång tidsperiod (30 år).

En satsning på transmutation innebär en satsning på kärnteknik med de för- och nackdelar som detta för med sig. Vilka är då dessa för- och nackdelar?

Fördelar

- Transmutationstekniken bygger på kända principer och vetenskapliga fakta. Något vetenskapligt genombrott, som för fusion (väte kraft) behövs inte.
- *I huvuddelen av det transmuterade kärnavfallet* antas radioaktiviteten kunna avklinga till ofarliga nivåer inom cirka 1 000 år. Detta kan jämföras med de flera hundra tusen år som behövs för att använt kärnbränsle, som inte har upparbetats eller transmuterats, ska bli lika ofarligt. Detta förklarar byggandet av ett slutförvar för avfallet samt minskar risken för radioaktiva utsläpp från förvaret. Detta resonemang förutsätter att kvarstående mängd långlivade radionuklider i huvudfraktionen blir mycket liten. Det bör dock understrykas att även med transmutation kommer anläggningar av samma typ, som i det nuvarande svenska kärnavfallsprogrammet, att behövas även om slutförvaret kan göras betydligt mindre och inte kräva samma tidsmässiga uthållighet.
- En satsning på transmutation innebär att den kärntechniska kompetensen kan bibehållas under lång tid.
- Genom transmutionsprocessen förbränns den mängd plutonium, som skulle kunna användas för kärnvapenframställning, samtidigt som energi kan tillgodogöras. (Jämför dock följande punkt.)

Nackdelar

- Transmutationstekniken, i den form som innefattar plutoniumförbränning i form av MOX-bränsle (se avsnitt 8.5), förutsätter upparbetning före förbränningen. Detta ökar utsläppen till omgivningen och ökar risken för spridning av kärnvapenmaterial. – Den svenska policyn är att inte upparbeta använt kärnbränsle.

- De nya reaktorerna skulle kunna byggas i Sverige. Det är dock osäkert om detta skulle kunna accepteras under en period av kärnkraftavveckling. De nya reaktorerna skulle även kunna byggas utanför Sverige men det förutsätter att en annan nation är beredd att ställa sig bakom ett sådant arrangemang. – Detta kan uppfattas som att man i viss utsträckning går ifrån principen om att varje land ska ta hand om sitt eget avfall.
- Det är knappast tekniskt eller ekonomiskt rimligt att Sverige bygger den eller de separationsanläggningar som krävs för transmutation. En förutsättning blir därför att separationen kan ske gemensamt mellan länder i ett antal europeiska anläggningar.
- Mängden transporter både inom Sverige och utomlands kommer att öka. Detta kan innebära ökade risker.
- Hanteringen av högaktivt avfall ökar, vilket innebär ökade risker.
- För att få rimlig ekonomi i transmutationstekniken måste de reaktorer som byggs kunna utnyttjas även för produktion och leverans av elektrisk kraft. Även med kraftproduktion kan transmutation emellertid förväntas ge betydligt dyrare hantering av kärnavfallet än den direktdeponering som nu planeras. – Om kostnaderna för direktdeponering blir cirka 5 % av kostnaderna för den producerade elkraften, så blir motsvarande kostnader för att ta hand om avfallet genom transmutation cirka 30 % av elproduktionskostnaderna, enligt svenska beräkningar. Enligt samma beräkningskälla motsvarar den senare högre elproduktionskostnaden ungefär den för alternativa energikällor som vind och biobränsle.

Slutsatser

Utnyttjandet av transmutation för det svenska kärnavfallet blir en fråga för kommande generationer. Med dagens kunskap om denna teknik är det inte acceptabelt att avbryta eller senarelägga

det svenska slutförvarsprogrammet, med hänvisning till transmutation som ett möjligt alternativ. Däremot stärker detta möjliga framtida alternativ kravet på att förvaret skall utformas så att återtagning av avfallet blir möjlig. Enligt de etiska principer, som bland andra KASAM ställt upp, bör varje generation ta hand om sitt eget avfall och inte tvinga framtida generationer att utveckla ny teknik för att lösa problemen. Därför är det rimligt att resurser avsätts för fortsatt forskning om transmutation. Denna forskning kan även ge utbyte, som är av värde inom andra områden, t.ex. kärnfysik, kemisk separationsteknik och materialteknik. Den svenska transmutionsforskningen bör samordnas med den forskning och utveckling som sker i andra länder. Att nu avsätta resurser för fortsatt transmutionsforskning ligger också i linje med synsättet att vår generation bör ge kommande generationer bästa möjliga förutsättningar att avgöra om de vill välja transmutation, som metod för att ta hand om det använda kärnbränslet, i stället för enbart direktdeponering (enligt t.ex. KBS-3-metoden).

Referenser

- DOE 99 A Roadmap for Developing Accelerator Transmutation of Waste Technology, US Department of Energy Report to Congress, October 1999, DOE/RW-0519
- DOE 03 Report to Congress on Advanced Fuel Cycle Initiative (AFCI), Comparison report, FY 2003 US Department of Energy, Office of Nuclear Energy, Science and Technology, October 2003
- Eur 01 A European Roadmap for Developing Accelerator Driven Systems (ADS) for Nuclear Waste Incineration, Report of the European Technical Working Group on ADS, April 2001, publ. by ENEA Communication and Information Unit, Lungotevere Thaon di Revel 76-00196 Roma, ISBN 88-8286-008-6
- Jeju 02 Proceedings of the Seventh Information Exchange Meeting on Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation, Jeju, Republic of Korea, 14–16 October 2002, OECD/Nuclear Energy Agency Report, ISBN 92-64-02125-6, EUR 20618 EN, OECD 2003
- Kal 96 Proceedings of the Second International Conference on Accelerator-Driven Transmutation Technologies and Applications, June 3–7, 1996, Kalmar, ISBN 91-506-1220-4 (2 volumes)
- KAS 92 Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 1992, Rapport från Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM) maj 1992, ISBN 91-38-12749-0

- KAS 02 Kärnavfall – forskning och teknikutveckling, KASAM:s yttrande över SKB:s FUD-program 2001, Rapport från Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM), Stockholm 2002, Statens offentliga utredningar SOU 2002:63
- Mil 99 Ansvar, rättvisa och trovärdighet – etiska dilemman kring kärnavfall, skrift utgiven på initiativ av Nationelle samordnaren på kärnavfallsområdet (Miljödepartementet), Kommentus förlag 1999, ISBN 91-7345-080-4
- NEA 02 OECD/NEA. Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles – A Comparative Study, Spring 2002, ISBN 92-64-18482-1.
- SKB 04 Partitioning and Transmutation, Current developments – 2004, editor Per-Erik Ahlström, SKB rapport, juni 2004 (i tryck).
- SKI 03 Nuclear Waste Separation and Transmutation Research with Special Focus on Russian Transmutation Projects Sponsered by ISTC, Slutrapport från expertgrupp som med stöd från SKI följt och rapporterat om transmutationsforskning speciellt rysk sådan finansierad av ISTC, SKI rapport 2003:19, mars 2003.
- Wal 01 Jan Wallenius, Kamil Tucek, Johan Carlsson, and Waclaw Gudowski, Application of Burnable Absorbers in an Accelerator-Driven System, Nucl. Sci. Eng., 137 (2001) 996
- Wes 01 Daniel Westlén, A Cost Benefit Analysis of an Accelerator Driven System, examensarbete vid inst. För kärn- och reaktorfysik vid KTH, 2001

9 Kärnavfall, etik och ansvaret för framtida generationer

9.1 Inledning

Under efterkrigstiden kan man finna flera exempel på teknikprojekt, som blivit föremål för debatt och diskussion inte bara bland politiker utan också bland en större allmänhet. Öresundsbron föregicks av en omfattande miljödebatt. Järnvägsbyggen, mobiltelefonmaster, vindkraftverk och genteknik har ifrågasatts av folkliga opinioner och politiker. Men ingen av dessa diskussioner kan mäta sig med den debatt, som kärnkraft och kärnavfall skapade med början under 1970-talet.

År 1976 fick Sverige sin första borgerliga regering efter 40 år av socialdemokratiskt maktinnehav. Det berodde till stor del på kärnkrafts- och kärnavfallsfrågan. Samma fråga ledde också till statsminister Thorbjörn Fälldins och hela hans regerings avgång 1978. Han återkom som regeringschef efter valet 1979, men då hade frågan hamnat i ett nytt politiskt läge inför folkomröstningen om kärnkraften, som genomfördes i mars 1980. Folkomröstningsresultatet fick till följd att en bred majoritet i riksdagen satte ett "bortre parentestecken" för kärnkraften till år 2010.

Kärnkraftsolyckan i Tjernobyl i Ryssland 1986 skördade många dödsoffer, men rev också upp gamla politiska sår i Sverige. Trots detta modifierades det svenska avvecklingsbeslutet redan 1991 – bland annat till följd av målsättningen att inte tillåta en ökning av utsläppen av koldioxid från fossila bränslen över 1988 års nivå. I de energipolitiska riktlinjer som riksdagen

beslutade om 1997 och 2002 anges inte längre något årtal för när kärnkraften skall vara avvecklad.

Sedan hösten 2002 pågår överläggningar mellan staten och elproducenterna i syfte att förbereda en överenskommelse om att bland annat skapa förutsättningar för en företagsekonomiskt försvarbar fortsatt drift och successiv stängning av kärnkraften. Den ena kärnreaktorn i Barsebäck stängdes av år 1999, men den andra är fortfarande i drift.

Motsättningarna mellan olika uppfattningar om kärnkraft och kärnavfall har under 1990-talet blivit mindre laddade och idag finns det andra miljöfrågor, som anses betydligt mer allvarliga än frågor om kärnavfallet. Trots denna situation innebär frågan om det slutliga omhändertagandet av det använda kärnbränslet ett stort nationellt ställningstagande avseende ett tekniskt och moraliskt komplicerat, storskaligt projekt. Ur detta perspektiv kan kärnavfallsfrågan snarare ses som undandömd än bortglömd.

I fokus för denna rapport står kärnavfallet samt de vetenskapliga förutsättningarna och samråds- och beslutsprocessen för att finna en säker slutförvaring av de 200–300 ton högaktivt, långlivat avfall, som skapas varje år vid driften av de svenska kärnkraftverken – totalt finns redan ca 4 000 ton sådant avfall i mellanlager i CLAB (centralt mellanlager för använt kärnbränsle) i Simpevarp i Oskarshamns kommun.

De flesta svenskar skulle nog bejaka påståendet att frågan om kärnavfallet inte enbart och uteslutande är en teknisk och ekonomisk fråga. Kärnavfallsfrågan handlar om något utöver bergarter, grundvattengenomströmning, hållfasthet och svetsningsteknik. Frågorna om kärnenergi och kärnavfall berör även moraliska och etiska värderingar och prioriteringar. – Vem har ansvar för en säker slutförvaring av det högaktiva avfallet? Bör vi avvakta en ny och bättre teknik i framtiden? Om inte, vilken kommun och vilka markägare skall upplåta sitt område för en slutförvarsanläggning? Vad kräver ansvaret för kommande generationer?

Hur tar man ställning i dessa frågor? Att konstruera ett slutförvar, som ska hålla i flera hundra tusen år, är en teknisk uppgift

som i sig ter sig svindlande. Men hur gör man för att komma fram till vad som är moraliskt rätt och fel i kärnavfallsfrågan? Det är en fråga av helt annan karaktär.

I detta kapitel diskuteras några av de moraliska och etiska frågor som kärnavfallet ger upphov till. Diskussionen kräver en avgränsning. Det går visserligen inte att komma ifrån att kärnavfallsfrågan är förknippad med den vidare frågan om kärnkraften som energikälla. Men detta faktum står inte i fokus för diskussionen i detta sammanhang. Vare sig man är för eller mot kärnkraft, ligger det snart 8 000 ton högaktivt avfall i CLAB:s mellanlagringsbassänger på Simpevarpshalvön 4 mil nordost om Oskarhamn. Den livsfarliga strålningen kommer att ha klingat av till ofarliga nivåer först om hundratusentals år. Vad gör vi åt detta? Vad *bör* vi göra om vi vill göra det på ett moraliskt och etiskt ansvarigt sätt?

Diskussionen här kommer att fokusera på en bestämd fråga: Vem ska ta ansvar för en mer definitiv lösning av kärnavfallsfrågan? Den frågan kan samtidigt ses som en rättvisefråga. Är det den nu levande generationen eller någon kommande generation som ska ta det ansvaret? Ansvaret för kommande generationer ställer oss också inför andra frågor. Om vi som lever i Sverige i denna tid bestämmer oss för att ta hand om avfallet, tillskjuter resurser, organiserar och bygger en anläggning, forslar ner avfallet och försluter förvaret, vilken hänsyn ska vi ta till kommande generationers eventuella önskemål att ta hand om avfallet på ett bättre sätt eller att utnyttja avfallet som en resurs? Detta aktualiserar frågan om s.k. återtagbarhet.

Inledningsvis beskrivs och analyseras ett antal etiska grundbegrepp och grundprinciper. Fokus sätts därefter på frågan om vad principen om rättvisa mellan generationer – dvs. mellan nuvarande och kommande generationer – betyder för slutförvarsfrågan. Den diskussionen leder fram till en diskussion om kärnavfallsfrågan som existentiellt dilemma.

9.2 Etik och moral

Det talas idag en hel del om etik och moral. Många vill ha mer av etik och moral i samhället. Men vad är det egentligen man vill ha mer av? Är det två olika saker? Vad är etik? Och vad är moral?

I vardagsspråket används orden etik och moral om vartannat, men rent etymologiskt har termerna olika ursprung. Etik kommer från grekiskans "ethos", som betyder hållning. Det finns också ett snarlikt grekiskt ord – "etos" – och det betyder närmast sedvänja, sed eller bruk. Moral kommer från det latinska adjektivet "moralis", som betyder sedvanemässigt eller brukligt. Ordens ursprung ger oss ingen tydligare vägledning, mer än att det handlar om människors seder och bruk. I denna breda betydelse är termerna ganska ointressanta.

Begreppet *moral* kan användas i två huvudbetydelser, här kallade Moral 1 och Moral 2.

Moral 1 är våra konventionella handlingsmönster.

Moral 1 kommer ganska nära ordets ursprungsbetydelse. Men enligt nutida språkbruk handlar moral också om något annat, nämligen om våra uppfattningar om vad som är rätt och orätt. Det handlar inte bara om vårt faktiska handlande och våra konventionella handlingsmönster.

Moral 2 är våra konkreta uppfattningar om vad som är rätt och orätt, om vad som kännetecknar en god människa, ett gott samhälle och en god relation till naturen.

Vad skulle då *etik* vara? 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?

Alla människor har en *moral 2*, 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 göra sina moraliska värderingar till föremål för eftertanke. Långt ifrån alla har reflekterat över innehållet i sin moral. Huruvida en sådan etisk reflektion leder till en förbättrad *moral 1* är en omdiskuterad fråga. Men man kan nog våga påstå att det inte finns något automatiskt samband mellan etik och *moral 1*. Etiken kan nog ofta förbättra vår *moral 1*, men det krävs nog något mer för att man ska bli en rättskaffens människa än att man fått godkänt på 10 poäng i praktisk filosofi.

Vi kan sammanfatta begreppet etik på följande sätt:

Etik är vår reflektion över innehållet i vår egen och andra människors moral 1 eller 2.

Etik i denna bemärkelse finns som ett ämne vid universiteten. Det finns forskning som har moralen (eller olika moraluppfattningar) som sitt studieobjekt. Den skulle kunna beskrivas som *det systematiska och kritiska studiet av de värderingar och principer som ingår i moralen.*

Vad ”*etiker*” sysslar med är alltså inte att utveckla en *teori-bildning* kring kvarkar, ekosystem och planeter, eller kring ekonomi, konsumtionsmönster och internationell samverkan utan kring vad som är (eller antas vara) rätt och orätt, gott och ont, eftersträvansvärt och förkastligt, rättvist och orättvist.

De flesta etiker räknar med att det inom den normativa etiken finns någon form av etiska grundprinciper. Enligt en enkel modell som ofta använts av Göran Hermerén (med inspiration från de amerikanska medicinetikerna Tom L. Beauchamp och James F. Childress i boken *Principles of Biomedical Ethics*, 1979 och senare upplagor) finns det i första hand fyra etiska grundprinciper:

1. *Självbestämmandeprincipen*, enligt vilken personer själva bör få bestämma över händelser i sitt eget liv, i varje fall om det inte går ut över andras självbestämmande, välfärd eller intressen.
2. *Godhetsprincipen*, enligt vilken vi bör göra gott mot andra, förebygga skada och förhindra eller ta bort sådant som är skadligt för andra.
3. *Principen att inte skada*, enligt vilken vi har en plikt att inte orsaka andra människor lidande eller åstadkomma skada.
4. *Rättvis principen*, enligt vilken fall som i moraliskt avseende är lika också bör behandlas eller bedömas lika vad avser fördelningen av förmåner och bördor.

Dessa principer torde vara allmänt accepterade, men oenighet kan uppkomma när de ska preciseras. Man kan också ha olika uppfattning om hur man ska handla när de olika principerna kommer i konflikt med varandra. Ändå är de användbara som utgångspunkt för moraliska överväganden, t.ex. för att finna en etiskt acceptabel hantering av kärnavfallet från svenska kärnkraftverk.

Den första principen, om självbestämmande, bör rimligen tillerkännas inte endast nu levande människor, utan även framtida generationer. De andra och tredje principerna, godhetsprincipen respektive principen om att inte skada, innebär att säkerhetsfrågorna måste vara centrala i varje resonemang. Om dessa tre principer samtidigt ska tillämpas så kan man formulera följande tillspetsade fråga. *Kan det vara rimligt att vi som lever nu tummar på säkerheten för oss och våra barn för att tillgodose kommande generationers rätt att återta kärnavfallet och utnyttja på det sätt som de anser vara bäst?*

Den fjärde principen handlar om rättvisa. Men den innebär inte enbart att lika fall bör behandlas eller bedömas lika. Den handlar även om hur resurser och ansvar ska fördelas mellan de människor som lever nu samt om förhållandet mellan nu levande generationer och framtida generationer.

Resonemangen utvecklas närmare längre fram i detta kapitel.

Dessa principer handlar till stor del om hur vi bör förhålla oss till andra människor. Men principerna kan i stor utsträckning också tillämpas på vårt förhållande till andra levande varelser. Då kommer man in på det som kallas miljöetik.

9.3 Vad är miljöetik?

Om man kan skilja mellan moral och etik i allmänhet, kan man naturligtvis också skilja mellan miljömoral och miljöetik. Miljömoralen skulle då bestå av våra faktiska moraliska förhållnings-sätt och attityder till naturen eller miljön. Miljöetiken betecknar istället det systematiska bearbetandet och reflekterandet över vår relation och våra attityder till naturen. Alla människor skulle därmed, medvetet eller omedvetet, ha en miljömoral, men inte alla skulle ha en miljöetik. Mer exakt skulle man kunna definiera miljöetik på följande sätt:

Miljöetik är det systematiska och kritiska studiet av de värderingsmässiga ställningstaganden som – medvetet eller omedvetet – styr människans sätt att förhålla sig till naturen (med syfte att ge förslag på och rättfärdigande av de etiska principer som bör vägleda människan i hennes umgänge med naturen).

Med andra ord, etikstudiet kan ha olika fokus:

- *Vårdetiken* rör relationen mellan vårdragare och vårdgivare.
- *Affärsetik* rör relationen mellan olika företag och deras kunder/klienter.
- *Miljöetik* rör relationen mellan människan och den natur som omger henne.

Det innebär att varje värdesystem, som på ett systematiskt sätt avser att vägleda oss i vårt umgänge med naturen, utgör en form av miljöetik.

Här är det viktigt med ett förtydligande. Vi bör uppmärksamma skillnaden mellan *beskrivande* och *normativ* miljöetik (eller mer generellt mellan beskrivande och normativ etik):

Inom den *beskrivande miljöetiken* försöker man *upptäcka, beskriva och klassificera* människors miljövärderingar. Man kan t.ex. söka att (1) beskriva och klassificera de moraliska värderingar som direkt eller indirekt styr miljövärdens och miljöpolitikens utformning och (2) analysera hur människor i allmänhet reagerar på miljöpolitiska åtgärder (utifrån deras egna grundläggande värderingar om hur man som människa ska förhålla sig till naturen). Det är viktigt att understryka att det är många andra än de som sysslar med universitetsämnet etik som ägnar sig åt beskrivande etik. Forskare inom både samhällsvetenskap, humaniora och etik bedriver forskning inom området beskrivande etik. Vi skulle kunna tala om "värderingsforskning" på miljöområdet som en mer generell kategori av forskning. Utan en sådan värderingsforskning, blir det svårt att på ett meningsfullt sätt bedriva en normativ etik. Vi behöver *få kunskap* om vilka grundvärderingar människor har när det gäller vårt förhållande till naturen, särskilt om

- hur dessa grundvärderingar förmedlas, tolkas eller kanske till och med ignoreras av institutioner och myndigheter,
- hur dessa grundvärderingar är kopplade till handlingar och levnadssätt, och om
- hur man på ett framgångsrikt och acceptabelt sätt kan påverka människors moraliska värderingar, osv.

Det som är specifikt för *etiker* är att de inte nöjer sig med att beskriva människors grundläggande värderingar eller attityder emot naturen, utan vill också kritiskt och konstruktivt granska dessa värderingar. Ett sådant konstruktivt och kritiskt studium av miljöfrågorna kan kallas *normativ etik*.

Inom *normativ miljöetik* försöker man att *kritiskt och konstruktivt granska* de moraliska värderingar som direkt eller indirekt styr miljövärdens och miljöpolitikens utformning och

människors reaktioner på dessa. Här är några exempel på normativa miljöetiska frågor:

- Bör vi försöka bevara utrotningshotade arter och i så fall varför och i vilken utsträckning?
- Bör vi ta hänsyn till kommande människogenerationer vid t.ex. nyttjandet av icke-förnybara naturresurser som fossila bränslen? Har vi rätt att göra av med all olja? Om vi har rätt till detta bör de i så fall kompenseras på något sätt?
- Kan vi handskas med andra levande varelser hur som helst? Eller måste vi ta hänsyn till dem i vårt handlande?

9.4 Kärnavfall och miljöetik

9.4.1 Principen om minimal risk

En synnerligen viktig etisk fråga handlar om huruvida människor eller djur kan komma till allvarlig skada av de cirka 8000 ton använt kärnbränsle¹ som inom de närmaste 50 åren planeras komma att deponeras i ett slutförvar någonstans i Sverige. Här aktualiseras bl.a. den etiska principen om att inte utsätta andra för skada. Med tanke på att det är svårt att helt och hållet utesluta att någon kan utsättas för skada, har man ibland formulerat en s.k. försiktighetsprincip. Den kan tolkas som en variation av icke skada-principen (se avsnitt 2). Man skulle kunna kalla detta ”principen om minimal risk” och formulera den på följande sätt:

Vi bör inte utsätta oss själva eller andra för mer än minimal risk för skada (om inte synnerligen goda skäl föreligger).

¹ Enligt uppgifter från FN-organet IAEA (International Atomic Energy Agency) fanns i början av år 2003 totalt cirka 171 000 ton använt kärnbränsle från kärnkrafter runt om i världen och som förvarades i olika former av mellanlager. Av den mängden fanns cirka 36 000 ton i Västeuropa och närmare 28 000 ton i Östeuropa. År 2010 beräknas den totala mängden använt kärnbränsle i världen vara cirka 340 000 ton.

En svårighet med denna princip är naturligtvis att avgöra vad som är en minimal risk. I medicinska sammanhang har man ibland definierat den på följande sätt: "Sannolikheten och storleken av fysisk eller psykisk skada som normalt möter en i det dagliga livet" (*Xenotransplantationsutredningen*, s. 291). Svårigheten med riskbedömningar av kärnavfallslagring är, att vi inte har fullständiga och helt säkra kunskaper om vad som t.ex. kan hända med ett djupförvar i det svenska urberget. Vissa risker känner vi till, men ett grundläggande problem är de okända riskerna, dvs. vi har inte – och lär heller inte kunna få – någon *säker* kunskap om alla de förhållanden som kan ge upphov till risker, t.ex. att högaktivt avfall läcker ut i grundvattnet och skadar människor och djur om 25 000 år.

En annan svårighet med principen om minimal risk är att risker alltid måste vägas mot positiva möjligheter. Finns det synnerligen stora vinster med vissa åtgärder, kan det vara moraliskt berättigat att acceptera vissa risker – särskilt om risken är självvald och i första hand avser den som utför handlingen. Men om risken påtvingas andra, uppstår ett nytt moraliskt problem, som är av relevans för kärnavfallsfrågan. Genom det farliga kärnavfallet påtvingas framtida generationer vissa risker. Och marginalerna för tillåtna risker bör vara snävare för påtvingade risker än för självvalda. En sådan värdering förefaller rimlig inte minst med tanke på att fördelarna av kärnkraften i första hand tillkommer den nu levande generationen och inte med samma självklarhet kommande generationer. Här aktualiseras den fjärde etiska grundprincipen om rättvisa.

Rättvisa är inget enkelt begrepp. I det följande illustreras hur besvärliga de etiska frågorna kan bli när man börjar att analysera detta begrepp och dess betydelse för hanteringen av kärnavfallsfrågan.

9.4.2 Rättvisa inom en generation och/eller rättvisa mellan generationer

Vi bör skilja mellan två rättvisefrågor:

1. Rättvisa inom den nu levande människogenerationen (intra-generationell rättvisa)
2. Rättvisa mellan den nu levande och framtida människogenerationer (intergenerationell rättvisa).

Intragenerationell rättvisa

Den första rättvisefrågan berör frågan om hur kärnkraftens fördelar och bördor – t.ex. hanteringen av det högaktiva avfallet – ska fördelas. Skulle Sverige t.ex. kunna överlåta till något annat land att ta hand om kärnavfallet? Eller skulle något annat land kunna låta oss ta hand om deras avfall? En sak är klar. I kärntekniklagen anges att tillstånd inte får ges till slutförvaring av använt kärnbränsle från något annat land än Sverige. Även i andra länder finns motsvarande bestämmelser, t.ex. i Frankrike och Storbritannien. Det finns också en internationell kärnavfallskonvention enligt vilken de fördragsslutande parterna ”är övertygade om att radioaktivt avfall ... bör slutförvaras i den stat i vilket det uppstod” samt ”inser att varje land har rätt att förbjuda import av utländskt använt kärnbränsle och radioaktivt avfall till sitt territorium”. Sverige ratificerade konventionen sommaren 1999. Konventionen trädde i kraft i juni 2001. När det i debattinlägg förekommer uppgifter om att Sverige genom medlemskapet i EU kan komma att tvingas att ta emot utländskt kärnavfall har den svenska regeringen i skilda sammanhang avvisat sådana påståenden och förklarat att Sverige inte kommer att ta emot utländskt kärnbränsle för slutförvaring i Sverige.

Men skulle Sverige inte kunna komma överens med något annat land att mot en skälig ersättning ta hand om vårt kärnavfall? Det synsättet har funnits tidigare i vårt land. I samband med att första kommersiella reaktorerna togs i drift i Sverige

fanns det sålunda planer på att upparbeta kärnbränslet och slutförvara avfallet i utländska anläggningar. Dessa planer övergavs bl.a. av den anledningen att plutonium från upparbetat svenskt kärnbränsle skulle kunna användas för tillverkning av kärnvapen. År 1977 antogs den s.k. villkorslagen. Den föreskrev att producenterna av kärnkraft, som ett alternativ till upparbetning, måste presentera en säker metod för hantering och förvaring av det utbrända kärnbränslet för att få starta nya reaktorer. Dessa startade då KBS-projektet (av kärnbränslesäkerhet), som 1983 lade förslag om att avfallet (det använda kärnbränslet) skall slutlagras i svenskt urberg utan upparbetning. Villkorslagen avskaffades 1984, men KBS-projektet fortsatte och bildar idag grundstommen i planeringen för slutförvaring av det använda kärnbränslet från svenska kärnkraftverk.

Intergenerationell rättvisa

En diskussion om intergenerationell rättvisa med särskild hänsyn till kärnavfallsfrågan kan föras enligt följande linjer.

Rättvisepincipen innebär att fall som i moraliskt relevanta avseende är lika också ska behandlas och bedömas lika med avseende på fördelningen av förmåner och bördor. Ett exempel på tillämpningen av principen utgör fördelningen av förmåner och bördor mellan kvinnor och män i ett samhälle. Könstillhörighet är lika lite som ras och etnicitet en omständighet som kan motivera olika behandling, t.ex. olika lön mellan män och kvinnor. Däremot kan utbildningstidens längd eller anställningens ansvar vara något som motiverar olika lön mellan olika människor. Därför uppfattas löneskillnader i sig inte som en orättvisa – även om skillnaderna ibland blir så stora så att de av detta skäl blir orättvisa.

När det gäller kärnkraften och kärnavfallet finns det en viktig skillnad mellan den nuvarande generationen och de kommande. Det är huvudsakligen den nuvarande generationen som fått förmånerna i form av elkraft. Kommande generationer kan i någon

mån få del av dessa förmåner genom de forskningsresultat och den teknikutveckling som vi kan lämna i arv till dem. Däremot efterlämnar det svenska kärnkraftsprogrammet en påtaglig börda, som kommer att finnas kvar under mycket lång tid, nämligen cirka 8 000 ton utbränt kärnbränsle som är livshotande och hälsovådligt om det inte tas omhand på och förvaras på ett betryggande sätt. Är det rättvist av den nuvarande generationen att överlämna till de kommande att ta hand om detta problem?

Svaret på denna fråga är nej. Och svaret kan motiveras både juridiskt och moraliskt. Den juridiska motiveringen är grundad i vissa internationella överenskommelser som godtagits av Sverige. IAEA antog 1995 grundläggande principer för hanteringen av radioaktivt avfall (*The Principles of Radioactive Waste Management*). Enligt artikel 5 ska avfallet hanteras på ett sätt ”som inte pålägger framtida generationer oskäliga bördor”. Med hänvisning till dessa principer utvecklades denna tanke i IAEA:s *Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management* från 1997. Enligt Artikel 1 är konventionens målsättning bland annat

(ii) to ensure that during all stages of spent fuel and radioactive waste management there are effective defenses against potential hazards so that individuals, society and the environment are protected from harmful effects of ionizing radiation, now and in the future, in such a way that the needs and aspirations of the present generation are met without compromising the ability of future generations to meet their needs and aspirations.

Denna formulering anknyter till vissa etiska resonemang, som har blivit vanliga i internationella miljösammanhang. En utgångspunkt kan tas i Bruntlandskommissionens berömda definition 1988 av hållbar utveckling:

En hållbar utveckling kan definieras som en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov. (*Vår gemensamma framtid*, 1988, s. 57)

Om vi accepterar tanken om en hållbar utveckling accepterar vi alltså att vi har en moralisk förpliktelse mot framtida människogenerationer. Resurser och bördor bör fördelas rättvist mellan nu levande och kommande generationer. Detta betyder att rättvisepincipen har *tidsmässigt utvidgats* till att innefatta inte bara nu levande människor utan också kommande människogenerationer.

Det innebär att vi i vårt handlande och vår samhällsplanering bör ta moralisk hänsyn inte bara till nu levande människor (traditionell antropocentrism), utan också till kommande människogenerationer (intergenerationell antropocentrism). Här kan vi tala om en ny etik. För aldrig tidigare har vi tänkt oss att vi skulle kunna ha ett moraliskt ansvar som sträcker sig 5, 10, 15, ja kanske oräkneliga generationer framåt i tiden. När det gäller kärnavfallsfrågan vidgas ansvaret ytterligare till ett ansvar som sträcker sig så länge som kärnavfallet utgör en hälsofara, dvs. ca 100 000 år för det använda kärnbränslet.

En viktig forskningsfråga blir då naturligtvis vad mer exakt detta ansvar eller hänsyn innebär, i synnerhet i situationer när våra intressen kan komma i konflikt med de intressen som kommande generationer kan tänkas ha. Detta ”nya” miljöetiska tänkesätt (intergenerationell antropocentrism eller den hållbara utvecklingens etik) dominerar det politiska sammanhanget både nationellt och internationellt.

9.4.3 Den hållbara utvecklingens etik – fyra rättvisepinciper

Vad innebär egentligen den intergenerationella antropocentrismen, d.v.s. den hållbara utvecklingens etik? I det följande diskuteras denna fråga med utgångspunkt från fyra olika rättvisepinciper.

Den statiska rättvisepincipen

Den hållbara utvecklingens etik kan – för det första – tolkas som en *statisk rättvisepincip* med följande innebörd:

Vi har en moralisk förpliktelse att lämna över till nästkommande generationer samma mängd och samma slag av naturresurser, som vår egen generation ärvt av tidigare generationer.

Den statiska rättvisepincipen skulle få långtgående konsekvenser om den tillämpades i praktiken. Den skulle helt enkelt kunna innebära ett förbud mot alla större ingrepp i naturen. Varför skulle vi acceptera en sådan princip? Vissa naturresurser kan ju återvinnas efter det att de använts, t.ex. vissa mineraler i elektronisk utrustning. Andra naturresurser kan inte återvinnas men de är förnyelsebara, dvs. de kan förbrukas men de tillväxer på nytt. Detta framhävs också i Brundtlandkommissionens slutrapport:

Allmänt sett utarmas inte förnybara resurser som skogar och fisk under förutsättning att graden av utnyttjande ligger inom ramen för fortplantning och naturlig tillväxt.

Denna tanke hade redan före Brundtlandskommissionens arbete generaliserats och förvandlats till en normativ princip i den s.k. *naturvårdsdoktrinen*:

Människan måste utnyttja naturen; men när hon väl tagit den i bruk bör hon fortsätta att bruka den på ett sådant sätt att ekosystemets bärkraft bibehålls. (*Naturresursers nyttjande och hävd*, SOU 1983:56 s. 187)

Ett exempel kan klargöra varför den statiska rättvisepincipen inte bör accepteras. Vid vårt nyttjande av ett vattendrag skapar vi kanske ett pumpsystem för att på ett mer effektivt sätt kunna använda vattnet. Men vattendraget finns fortfarande kvar för andra att nyttja. Anta istället att vi nyttjar det på så sätt att vi dikar ut vattendraget för att skapa odlingsbar mark. Äventyrar vi

inte då kommande generationers möjligheter att nyttja vattendraget för att tillfredsställa sina behov? Helt klart. De kan överhuvudtaget inte längre nyttja vattendraget, för det finns inte mer. Men Brundtlandkommissionen avser naturligtvis inte att vi, genom att handla på ett sådant sätt, bryter mot våra intergenerationella förpliktelser:

Alla ekosystem kan inte bevaras intakta överallt. En skog kan huggas ner inom en del av ett avrinningsområde samtidigt som den utvidgas inom en annan del. Detta är inte något negativt om exploateringen planerats och effekterna på jorderosion, vattenförhållanden och hotade växter och djurarter tagits med i beräkningen. Allmänt sett utarmas inte förnybara resurser som skogar och fisk under förutsättning att graden av utnyttjande ligger inom ramen för fortplantning och naturlig tillväxt. (*Vår gemensamma framtid* 1988, s. 59–60)

Dagens människor antas inte bara ha rätt att konsumera naturprodukter. De har också rätt att förändra befintliga naturområden utan att deras moraliska ansvar gentemot kommande generationer åsidosätts. Vi behöver således inte leva med minimal inverkan på naturen. Vi har dessutom rätt att förbruka icke-förnybara resurser som fossila bränslen och mineraler, även om vi därmed minskar framtida generationers tillgång till dessa produkter. Villkoret som måste uppfyllas är dock att ”förbrukningsgraden och eventuell återvinning och sparsamhet vid utnyttjandet avpassas så att [de icke-förnybara] resurserna inte tar slut innan acceptabla ersättningar finns tillgängliga. ... [Så] många framtida valmöjligheter som möjligt [bör lämnas] öppna” (s. 60). Intergenerationell rättvisa innebär därmed inte att samma typ eller mängd av naturresurser fördelas lika mellan generationer.

Den minimala rättvisepincipen

Med hänvisning till bl. a. naturvårdsdoktrinen bör man sålunda avvisa den statiska rättvisepincipen som en rimlig princip inom miljöetiken – och i diskussionen av kärnavfallens slutförvaring. I

stället bör en annan grundprincip gälla, nämligen den *minimala rättvisepincipen*:

Ingrepp i naturens ordning är en rättighet för människan. Men vi har en moralisk förpliktelse att nyttja eller förbruka naturresurser på ett sådant sätt att vi inte hotar framtida generationers livsmöjligheter.

Om man accepterar den minimala rättvisepincipen som en rimlig princip inom miljöetiken, får det tydliga konsekvenser för kärnavfallsfrågan. Vi är då förpliktade att i dag använda kärnkraften på ett sådant sätt att den inte skadar framtida generationer – även om dessa generationer är mycket avlägsna. Vi kan inte fly från våra förpliktelser bara för att de har med mycket långsiktiga konsekvenser av vårt handlande att göra. Man kan göra en jämförelse med saker som ligger på ett stort avstånd i rummet. Antag att människor på andra sidan jordklotet skulle kunna drabbas av miljögifter som genom luft eller vatten på kort tid skulle kunna spridas till Nya Zeeland eller Eldlandet. Avståndet i rummet är inte en moraliskt relevant omständighet och kan inte ursäkta en likgiltighet för konsekvenserna av våra handlingar. Lika lite kan vi göra ett undantag för icke-skadapprincipen bara för att det handlar om människor på ett stort tidsmässigt avstånd från vår egen generation.

Den starka och den svaga rättvisepincipen

Det finns alltså ett spektrum av intergenerationella rättvisepinciper som grund för miljöetiken, med den statiska rättvisepincipen som en ytterlighet och den minimala rättvisepincipen som den andra ytterligheten. Mellan dessa ytterligheter kan man identifiera två andra rättvisepinciper, som utgör mellanliggande positioner. Den första kallas här *den starka rättvisepincipen* och kan formuleras på följande sätt:

Vi har en förpliktelse att nyttja eller förbruka naturresurser på ett sådant sätt att efterkommande människogenerationer kan förväntas uppnå en likvärdig livskvalitet som den vi själva har.

Detta är en krävande princip, som sannolikt skulle innebära en långtgående omläggning av den nuvarande människogenerationens konsumtionsmönster och naturexploatering. Man kan jämföra denna rättvisepincip med *en svagare rättvisepincip*, som skulle kunna formuleras på följande sätt:

Vi har en moralisk förpliktelse att nyttja naturresurserna på ett sådant sätt att inte enbart nu levande människor utan också framtida människogenerationer kan tillgodose sina grundläggande behov.

En del av företrädarna för en hållbar utveckling pendlar i sina resonemang om vårt ansvar inför efterkommande generationer mellan en svagare och en starkare rättvisepincip. Ett exempel på en sådan tvetydighet kan vi finna i Andrew Kadaks artikel "An intergenerational approach to high-level waste disposal" (1997). För att förtydliga skillnaden mellan den starka och den svaga rättvisepincipen, kan det vara av värde att studera Kadaks argument lite mer i detalj.

I artikeln presenterar Kadak vilka etiska riktlinjer en arbetsgrupp som han själv ingick i och som var tillsatt av NAPA², anser bör utgöra utgångspunkten för hur bl.a. kärnavfallsprodukter ska hanteras och förvaras. Han skriver att

målet var att ingen generation onödigtvis, nu eller i framtiden, fick beröva sina efterföljande generationer möjligheten att uppleva en livskvalitet som är jämbördig med deras egen (Kadak 1997, s. 50).

²NAPA står för National Academy of Public Administration och är enligt Kadak "a nonprofit, nonpartisan organization chartered by the U.S. Congress to improve the effectiveness and performance of government at all levels" (Kadak 1997, s. 49)

Till denna övergripande målsättning fogas sex tillämpningssprinciper. Kadak formulerar en av dessa principer på följande sätt:

Det finns en förpliktelse att skydda framtida generationer under förutsättning att den nuvarande och omedelbart efterföljande generationens intressen inte riskeras” (Kadak 1997, s. 50).

Kadak hävdar också att dessa principer innebär att

dagens prioritet är den nuvarande generationen, även om överväganden om framtida generationer måste vägas in i dagens beslut (s. 50).

Problemet med Kadaks resonemang är att han å ena sidan hävdar att framtida generationer har rätt till samma livskvalitet som vi har, men å andra sidan också menar att vi ska prioritera nu levande människors intressen före kommande generationers. Dessa två påståenden går inte utan vidare att förena med varandra. Det kan hävdas att han i första citatet verkar godta den starka rättvisepincipen, men i de två nästföljande citerade meningarna *som bäst* antar den svaga rättvisepincipen. Den svaga rättvisepincipen tillåter oss att prioritera våra egna intressen oavsett om de är av grundläggande eller icke-grundläggande slag, så länge vi inte äventyrar kommande generationers möjlighet att tillgodose sina grundläggande behov. Det innebär dock inte att vi utan vidare kan prioritera alla våra intressen. Enligt den svaga rättvisepincipen har kommande generationers grundläggande behov företräde över den nuvarande generationens intressen, som går utöver våra grundläggande behov av arbete, mat, energi, bostad, hälsovård och utbildning. Endast när våra intressen kommer i konflikt med efterkommande generationers icke-grundläggande intressen, kan vi konsekvent prioritera våra intressen. Inte ens om man nöjer sig med den svaga rättvisepincipen, skulle man således som Kadak kunna påstå att det finns ”en förpliktelse att skydda framtida generationer under förutsättning att den nuvarande och omedelbart efterföljande generationens intressen inte riskeras”.

Än mer problematiskt blir Kadaks tvetydiga uttalanden om denna generations företrädare, om den starka rättvisepprincipen förordas. Enligt den starka rättvisepprincipen har vi en moralisk förpliktelse att nyttja eller förbruka naturresurserna på ett sådant sätt att också efterkommande människogenerationer kan förväntas uppnå en likvärdig livskvalitet som tillkommer vår egen generation. Det innebär att vi inte ens kan anta att våra icke-grundläggande behov alltid ska ha företräde framför kommande generationers icke-grundläggande behov. Ett exempel kan klargöra argumentet. Anta att vi framför åsikten att invandrare som lever i Sverige har rätt till samma livskvalitet som infödda svenskar. Då är vi oundvikligen inkonsekventa i vårt resonemang, om vi samtidigt hävdar att vi, vid en fördelning av olika resurser för att tillfredsställa dessa två gruppers icke-grundläggande intressen, alltid ska prioritera infödda svenskar. Det samma måste rimligen gälla vid en diskussion om fördelning av resurser mellan generationer.

Slutsatsen av detta resonemang blir att det är viktigt att hålla isär den starka och den svaga rättvisepprincipen. Den starka rättvisepprincipen ger framtida generationer en mycket starkare ställning än den svagare, eftersom den starkare inte enbart förutsätter att framtida generationer ska få samma grundläggande behov tillgodosedda, utan också ges förutsättningar att uppnå samma livskvalitet.

De fyra rättvisepprinciperna i sammandrag

De berörda principerna kan – i starkt förenklad form – sammanfattas enligt följande:

Den statiska rättvisepprincipen:

En moralisk förpliktelse att lämna över till nästkommande generationer samma mängd och samma slag av naturresurser som vår egen generation ärvt av tidigare generationer.

Den starka rättvis principen:

Vi har en förpliktelse att nyttja eller förbruka naturresurser på ett sådant sätt att efterkommande människogenerationer kan förväntas uppnå en likvärdig livskvalitet som den vi själva har.

Den svaga rättvis principen:

Vi har en moralisk förpliktelse att nyttja naturresurserna på ett sådant sätt att inte enbart nu levande människor utan också framtida människogenerationer kan tillgodose sina grundläggande behov.

Den minimala rättvis principen:

Ingrepp i naturens ordning är en rättighet för människan. Men vi har en moralisk förpliktelse att nyttja eller förbruka naturresurser på ett sådant sätt att vi inte hotar framtida generationers livsmöjligheter.

Den starka och den svaga rättvis principen intar alltså en slags mellanposition mellan den statiska och minimala principen. Detta illustreras i nedanstående figur. Den utgår från en skala som berör konsekvenserna för den nuvarande generationens konsumtionsmönster och naturutnyttjande. Vissa rättvis principer skulle – om de tillämpades konsekvent – medföra mycket omfattande förändringar av våra konsumtionsmönster och vårt naturutnyttjande. Andra rättvis principer har mer begränsade konsekvenser. Enligt en intuitiv bedömning får den statiska rättvis principen de mest långtgående konsekvenserna – och den minimala mindre omfattande.



Figur 9.1. Konsekvenser för den nuvarande generationens konsumtionsmönster och naturutnyttjande.

9.5 Kärnavfallsfrågan som existentiellt dilemma

9.5.1 Idén om ett "avtagande ansvar"

I närmast föregående delavsnitt har den statiska rättvisepincipen avvisats som underlag för vårt handlande. Därmed återstår att på något sätt ta ställning till när en övergång från den starka eller den svaga rättvisepincipen till den minimala rättvisepincipen skulle vara berättigad. Den diskussionen kan föras i anslutning till exempelvis den bedömning som har gjorts i KASAM:s kunskapslägesrapport 1998. Där står bl.a. följande om underlaget för ett beslut om slutförvaring av kärnavfallet:

Beslutsunderlagets trovärdighet minskar ... över tid. Även vetenskapen har sin tidsmässiga trovärdighetsgräns. Detta innebär att vår ansvarsmöjlighet förändras med avståndet i tiden. *Det moraliska ansvaret avtar med andra ord i en avtagande skala över tid.* (Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 1998, KASAM, 1998, s. 21.

Detta kan kallas *idén om det avtagande moraliska ansvaret*. Vad skulle denna idé kunna innebära i praktiken för frågan om vår hantering av det använda kärnbränslet från det svenska kärnavfallsprogrammet?

Det bör först understrykas att det rör sig om ett försök till bedömningar som inte har den exakta vetenskapens karaktär. Våra kunskaper är begränsade och våra möjligheter att med någon säkerhet uttala oss om framtiden på lite längre sikt – för att inte tala om de hundratusentals år som det använda kärnbränslet kan riskera det organiska livets livsmöjligheter. En möjlighet är naturligtvis att helt och hållet avstå från att göra bedömningar som vi inte har några förutsättningar att belägga eller motbevisa. Den fysiska närvaron av drygt 8 000 ton använt och hälsofarligt kärnbränsle från det svenska kärnkraftsprogrammet tvingar oss trots allt att fundera på och ta ställning till dessa frågor. Även om vårt ansvar för mycket avlägsna generationer är mer begränsat än för de mer näraliggande, så kan vi inte definiera bort vårt ansvar för människor som kan komma att leva i våra trakter tusentals, ja hundratusentals år fram i tiden. Utan att vilja dramatisera skulle man kunna säga att kärnavfallsfrågan blottlägger ett grundläggande existentiellt dilemma: det moraliska ansvaret tvingar oss att ta ställning i frågor som vi i grund och botten inte är rustade att besvara. Det är inte endast så att det är vissa saker som vi har bristande kunskap om, t.ex. när vi kan räkna med en ny istid eller om en kraftigare jordbävning skulle kunna förstöra slutförvaret. Det är sannolikt att en ny istid drabbar det som idag är Sverige inom cirka 100 000 år och det är osannolikt att det här inträffar en större jordbävning. I våra säkerhetsanalyser kan vi försöka att ta hänsyn till detta, men vi måste erkänna att de beslut vi fattar på grundval av dessa och andra sannolikhetsbedömningar blir beslut under osäkerhet (se SKN Rapport 45 *Osäkerhet och beslut*. Rapport från ett seminarium om beslut under osäkerhet i anknytning till kärnavfallsfrågan, 1991). Men osäkerheten är mer omfattande än bristande kunskap – det är dessutom så att det mesta som kommer att hända på lite längre sikt och som kan påverka även ett robust slutförvarssystem är osäkert i en mer radikal bemärkelse; det handlar om förhållanden och skeenden som vi inte vet att vi inte vet.

Ändå kan vi inte avsäga vårt ansvar. Strängt taget är situationen inte ny. Människor har alltid varit mer eller mindre medvetna om att de är beroende av krafter bortom människans och den mänskliga kunskapens gränser. Religionen var länge en viktig faktor för att bemästra denna osäkerhet. Idag är forskning och vetenskap det mest kraftfulla medlet att reducera den osäkerhet som utmärker den mänskliga tillvaron som sådan. Men om någon trodde att osäkerheten helt och hållet kan elimineras, så har han eller hon inte reflekterat över hur vi ska hantera det utbrända kärnbränslet från svenska kärnkraftverk på ett etiskt ansvarigt sätt.

I det följande görs ett försök att ge idén om ett ”avtagande ansvar” en något tydligare innebörd. Varför skulle vi ha en mer omfattande skyldighet mot de generationer som kommer närmast – och då tillämpa den starka rättvisepincipen – och mer begränsade mot senare generationer – och då tillämpa den svaga rättvisepincipen? Och varför skulle vi på riktigt långt sikt endast ha en skyldigt att se till att vi som lever nu inte hotar framtida generationers livsmöjligheter – den minimala rättvisepincipen?

Självklart kan inga absoluta tidsgränser anges för övergången från en rättvisepincip till en annan. Men det vore ändå önskvärt att på något sätt antyda åtminstone hur man skulle kunna resonera sig fram till några slags brytpunkter. För att komma fram till en lösning måste vi nog diskutera vad som motiverar en åtskillnad mellan näraliggande och mer avlägsna generationer framåt i tiden. Motiveringen är – kort sagt – att när vi kommer tillräckligt långt fram i tiden, saknar vi förmåga att på ett någorlunda tillförlitligt sätt bedöma eller påverka vilka dessa generationers behov kommer att vara beträffande energi, transport, bostäder, utbildning osv.

En viss vägledning för detta resonemang kan vi kanske få om vi tittar tillbaka i tiden och hypotetiskt ställer oss frågan, ”Vilken förmåga hade man i Europa under medeltiden att bilda sig en uppfattning om vilka behov vår generation skulle ha?” Blir det någon skillnad i svar om vi ställer samma fråga med avseende på de människor som levde på slutet av 1800-talet? Klart är i varje

fall att de som levde under 1800-talet hade en betydligt bättre möjlighet än de som levde på 1500-talet, att göra en sådan bedömning. Om vi har rätt att klandra någon av dessa generationer för dagens miljösituation, så gäller det i mycket större utsträckning dem som levde på 1800-talet än dem som levde på 1500-talet. Några viktiga skillnader finns dock mellan dem och oss, skillnader som rimligen gör vårt ansvar större och gör att det sträcker sig tidsmässigt längre. En sådan skillnad är att vi har vissa ekologiska kunskaper som de saknade. Vi tänker i första hand på tre vetenskapliga insikter, nämligen (A) att det föreligger en interaktion och ett ömsesidigt beroende mellan människan och alla andra levande varelser och att (B) flera av de naturresurser vi människor har tillgång till är begränsade samt att (C) det finns en gräns för ekosystemens förmåga att absorbera människans avfallsprodukter. Med hjälp av statistik och datorer har vi dessutom möjlighet att, bättre än de, uppställa prognoser för framtida befolkningsökning, ökenspridning, uttunning av ozonskiktet, omfattningen av och nyttjandegraden av jordens icke-förnybara resurser. Våra möjligheter att bedöma framtida generationers mer grundläggande behov har vidgats, men med vissa marginaler kan vi knappast säga något om vilka behov som kommer att kräva särskilda kollektiva insatser att tillgodose om storleksordningen 300 år. Därefter kan vi egentligen inte veta någonting. Men en sak vet vi med säkerhet och det är att kärnavfallet från vårt kärnkraftsprogram fortfarande är potentiellt farligt – om det inte hålls förvarat under sådana omständigheter som effektivt undandrar avfallet från det naturliga kretslopp som utmärker biosfären. Vi vet att människor kan skadas av kärnavfallet hundratals år fram i tiden.

Med olika reservationer tycker vi oss alltså kunna urskilja en brytpunkt ungefär 300 år fram i tiden. För tiden därefter kan vi enbart tillämpa den minimala rättvisepincipen (att inte hota framtida generationers livsmöjligheter). Dessförinnan gäller den svaga rättvisepincipen (att framtida generationer ska kunna tillgodose sina grundläggande behov). Men det förefaller som om det också finns en annan brytpunkt, som kanske kan förläggas

cirka 150 år framåt i tiden. Intill dess gäller den starka rättviseprincipen; vi har ett moraliskt ansvar för att de 5–6 kommande generationerna kan uppnå en likvärdig livskvalitet i förhållande till den vi har.

Varför ska man göra en sådan gränsdragning? Är den inte helt gripen ur luften? Det är möjligt, men man skulle kunna resonera på följande sätt.

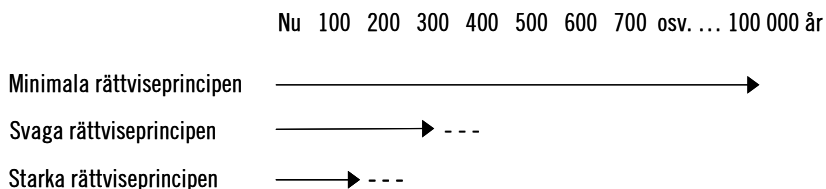
Låt oss räkna med att en generation är lika med en *mansålder*, d.v.s. den genomsnittliga tid som förflyter mellan två på varandra följande generationers början. Idag torde det vara ungefär 30 år. 150 år betyder ungefär 5 generationer. Om vi är generation 1, så är våra barn generation 2, våra barnbarn generation 3, våra barnbarns barn generation 4 och våra barnbarns barnbarn generation 5. Om vi som tillhör generation 1 prövar vår känsla av samhörighet, så kan vi fortfarande – om vi anstränger vår fantasi – känna en samhörighet med våra barnbarns barnbarn. Rent spontant känns det inte som om det finns någon skarp gräns i min moraliska ansvarskänsla mellan dessa generationer. Men efter fem generationer känns det svårare. Några i dagens generation kommer att leva tillräckligt länge för att hinna se sina barnbarns barnbarn (generation 5) och kan då möjligen föreställa sig generation 6, men knappast mer.

Detta resonemang bygger inte endast på hur vår moraliska inlevelseförmåga fungerar eller inte fungerar. Det bygger samtidigt på vad vi rimligen kan påverka och inte påverka. Och det förefaller som om våra primära relationer knappast kan påverkas längre än 5–6 generationer fram i tiden. Om vi vidgar cirkeln till att omfatta sekundära relationer, närsamhället och nationalstaten kan gränsen möjligen utvidgas. Men någonstans – som ovan antytts efter omkring 300 år – förefaller våra möjligheter att förutse och positivt påverka utvecklingen bli nästan obefintliga. Däremot kan vi negativt åstadkomma en hel del skada på mycket lång sikt bland annat genom t.ex. en oförsiktig slutförvaring av vårt använda kärnbränsle. Det finns alltså en asymmetri mellan den relativt korta framtid som vi kan påverka positivt och den mycket längre framtid som vi kan påverka negativt.

Man bör därför pröva tanken att den starka rättvisepincipen uttrycker våra förpliktelser gentemot kommande generationer ungefär 150 år framåt i tiden. Den svaga rättvisepincipen anger våra förpliktelser från denna tid och ytterligare kanske 150 år framåt. Därefter tar den minimala rättvisepincipen vid och gäller för den resterande tidsrymd som vi kan anta att människor kommer att kunna leva på jorden.

9.5.2 Tre tidsintervaller – tre rättvisepinciper

Idén om ett avtagande moraliskt ansvar kan konkretiseras i en ny figur. Den består av tre olika tidslinjer för var och en av de tre rättvisepinciper, som vi lagt till grund för vår etiska modell: Den minimala, den svaga och den starka rättvisepincipen. Principerna är s.a.s. korrelerade med olika tidslinjer på ett sätt som förtydligar idén om ett avtagande moraliskt ansvar.



Figur 9.2. Tre tidslinjer som definierar rättvisepincipernas huvudsakliga tillämpningsområde i tiden.

De streckade linjerna markerar att det inte är fråga om några markerade övergångar. Den starka respektive den svaga rättvisepincipens utsträckning i tiden är beroende av det rimliga att utsträcka ansvar in i framtiden. Och ansvar är kopplat till förmåga. Vi kan inte belasta människor med ett ansvar för något som de inte i någon rimlig mening kunnat påverka. Eller gjort sig

skyldiga till. Detta är en grundprincip inte bara i moralen utan också inom etiken. Böra förutsätter kunna.

Men det finns också ett annat resonemang som skulle kunna ge ett visst stöd åt den rangordning som antytts. Denna rangordning innebär ju att vi (1) har en grundläggande förpliktelse på mycket lång sikt att inte skada, (2) på lång sikt – dvs. fram till ungefär år 2300 – bör tillgodose kommande människors grundläggande behov och (3) på inte fullt så lång sikt, dvs. fram till omkring 2150 också har ett ansvar för att de får en med vår likvärdig livskvalitet. Man skulle nämligen kunna hänvisa till ett slags analogiresonemang inom läkaretiken. Redan i den hippokratiska läkaretiken fanns en regel som sammanfattades med de latinska orden ”primum non nocere”, framför allt skada inte. Det är läkarens första plikt att inte skada; om läkaren inte kan göra något annat, så ska läkaren i varje fall inte skada. Man skulle kunna säga att nästa plikt på hierarkin är att tillgodose patientens grundläggande behov. Patienten har en sjukdom för vilken det inte finns någon bot. Men då kan läkaren ändå se till att patienten får sina grundläggande fysiska, psykiska, sociala osv. behov tillgodosedda. Överst på hierarkin ligger plikten att ge patienten samma livskvalitet som läkaren själv, dvs. åstadkomma bot. Det finns alltså ett visst analogt stöd för den rangordning vi gjort mellan de tre rättvisepinciperna. Och detta kan illustreras i nedanstående figur.

Principer	Läkaretik	Intergenerationell etik
Icke skada eller hota livsmöjligheter	gäller alla och alltid	gäller nu – ∞
Tillgodose grundläggande behov	gäller de obotligt sjuka	gäller nu – ca 2300
Ge likvärdiga livsmöjligheter	gäller sjuka som får bot	gäller nu – ca 2150

Figur 9.3. Analog rangordning av plikter inom läkaretik och framtidsetik.

9.5.3 Idén om ett "rullande nu"

En annan viktig tanke från *KASAM:s kunskapslägesrapport 1998* (spec. s. 22), och som återkommer i *Ansvar, rättvisa och trovärdighet – etiska dilemman kring kärnavfall*, 1999, s. 28), är idén om ett "rullande nu". Den anknyter i sin tur till ett resonemang hos den amerikanske etikern John Rawls i hans omtalade bok *A Theory of Justice* (1971).

Rawls teori om en moralisk "överenskommelse" under "okunnighetens slöja"

Rawls teori ger ett svar på frågan varför vi överhuvudtaget har vissa förpliktelser mot andra människor i allmänhet och mot kommande generationer i synnerhet. Svaret är att etiska förpliktelser har sin grund i något som liknar en överenskommelse eller ett kontrakt mellan en grupp människor i en viss situation. Vilka rättigheter och skyldigheter ska vi tillerkänna människorna? Rawls svarar: de rättigheter och skyldigheter som det ligger i varje människas egenintresse att respektera *i en fingerad situation där alla individer är helt jämlika och deras olikheter är dolda under en "slöja av okunnighet"*. I denna situation är människor inte endast okunniga om sin hudfärg, etniska identitet, samhällsposition etc. *utan också om vilken generation som de tillhör*. I en sådan situation skulle vi vilja träffa en överenskommelse om att rättvisa bör råda både inom en generation och mellan generationer. Och då gäller det inte endast rättvisa i de betydelser som vi diskuterat i detta sammanhang, utan också rättvisa i fråga om tilldelning av mänskliga rättigheter och rättvisa vad avser sociala och ekonomiska förmåner (även om Rawls godtar en viss ojämlikhet på denna punkt – förutsett att denna ojämlikhet gynnar de sämst ställda).

Varför skulle det som människor accepterar som rättvisa i en sådan fiktiv värld under "okunnighetens slöja" också gälla som rättvisa för oss i den verkliga världen? Rawls svar på denna fråga

är inte helt entydiga. Man skulle kunna skilja mellan en mer pragmatisk och en mer humanistisk tankelinje. Den *pragmatiska tankelinjen* innebär att det är bättre för alla att leva i ett samhälle där det råder rättvisa. Alla – dvs. också de som tillhör eliten – tjänar på att det finns en viss jämlikhet och att ingen i väsentlig grad har det sämre ställt än någon annan och att klasskillnaderna inte är för stora. Svårigheten med detta resonemang är att det endast ter sig oklokt och opraktiskt med t.ex. ett fascistiskt samhälle. Är det inte något helt annat och värre, ett brott mot mänskligheten? Enligt en mer *humanistisk tankelinje* är rättvisa en plikt helt enkelt därför att det som är utslagsgivande för vår mänsklighet inte är allt det som skiljer oss ifråga om hudfärg, uppväxtsituation, vinstlotter i livets lotteri etc. Det som är utslagsgivande är vår mänsklighet; moralen är vår respekt för det mänskliga och detta är den centrala aspekten, som är en del av vår natur – och inte tillfälliga fördelningar av positioner i den verkliga världen. Och det är just denna aspekt som Rawls vill renodla genom att måla upp bilden av en fiktiv situation ”under okunnighetens slöja”. (I *A Theory of Justice* är Rawls mångtydig – efterhand tycks han ha närmat sig en pragmatisk tolkning.)

Därmed skapas en grund för vissa rättvisepprinciper som överensstämmer med (men inte uttömmar) den starka, svaga och minimala rättvisepprincipen som vi ovan beskrivit dem.

Ett ”rullande nu”

Rawls har också beskrivit hur han närmare tänker sig rättvisa mellan generationerna. Hans tankar i denna fråga kan förtydliga idén om ett ”rullande nu”. Vad skulle vi uppfatta som en eftersträvandsvärd rättvisa om vi befann oss i en situation där vi inte visste vilken generation som vi tillhörde? Rawls’ svar blir följande:

... varje förnuftig människa – som inte vet vilken generation, socialklass, begåvningsgrupp o.s.v. hon tillhör – accepterar principen om lika fördelning av risker, resurser och tillgångar som rättvis. (Rawls 1971, s. 284 ff.)

I förhållande till framtida generationer formulerar Rawls en tredelad uppgift för dagens generation. Den bör (1) åt eftervärlden bevara de framsteg som vår kultur och civilisation gjort, (2) vidmakthålla våra rättvisa institutioner – och de institutioner som vidmakthåller rättvisa, och (3) till efterkommande allra helst överlämna ett större kapital, inneslutande mer kunskap och en mer utvecklad teknologi än vad vi själva fått från tidigare generationer, kompensera kommande generationer för det som vi förbrukat och bereda möjligheter till ett bättre liv i ett rättvisare samhälle än dagens. Kort sagt: Vi bör förse kommande släkten minst med det vi själva fått, helst något mer och samtidigt bereda dem så stor handlingsfrihet som möjligt.

Man bör lägga märke till en viktig nyans i detta sammanhang. Rawls inbegriper men utvidgar samtidigt den starka rättvisepincip som vi ovan formulerat den. Vi har inte bara förpliktelse att nyttja eller förbruka naturresurser på ett sådant sätt att efterkommande människogenerationer kan förväntas uppnå en likvärdig livskvalitet som den vi själva har. Vi har enligt Rawls också en förpliktelse att överlämna ett ännu större kapital än det vi själva mottog från föregående generationer. Det kan hävdas att Rawls på denna punkt levererar något som skulle kunna vara ett ”moraliskt överbud”. Man bör kort sagt skilja mellan moraliska förpliktelser och moraliska överloppsgärningar. Låt oss ta följande exempel: Det kan i vissa situationer ses som önskvärt att vi till våra barn överlämnar en större förmögenhet och en bättre social situation än den vi själva mottog från en föregående generation. Om våra föräldrar var mycket fattiga och deras sociala situation svår, så skulle det t.o.m. kunna sägas vara mycket önskvärt. Men kan man uppställa det som en moralisk förpliktelse att överlämna större tillgångar till sina barn än man mottog från sina föräldrar? Skulle det med andra ord vara omoraliskt att över-

lämna ungefär likvärdiga tillgångar eller t.o.m. mindre? Det kan knappast förhålla sig på detta sätt. Man måste skilja mellan det moralen kräver och det som går utöver det som moralen kräver, dvs. överloppsgärningar.

Denna etiska teori kan på ett naturligt sätt sammankopplas med idén om ett ”rullande nu”. Grundtanken med idén om ett ”rullande nu” är att nuet och framtiden knyts samman av människor och institutioner, som bär förpliktelser och utvecklingsmöjligheter från en generation till nästa. En sådan kedja gör det möjligt att identifiera nya osäkerheter utifrån ny kunskap och komma med förbättringar. Och den nu levande generationen har en skyldighet att förse kommande generationer med resurser för att denna ansvarskedja inte pålägger framtida generationer med orimliga bördor. Detta är en konsekvens av en grundläggande ansvarsprincip att den som producerar ett avfall också ska ta hand om avfallet och i olika avseenden tillse att det inte skadar andra människor.

Enligt idén om ett ”rullande nu” får man tänka sig att *varje* generation har en förpliktelse gentemot de efterlevande. Varje generation är särskilt förpliktad bidra till att de närmast efterlevande generationerna, så att de kan uppnå en med dem likvärdig livskvalitet genom kunskap, tekniska resurser och kulturellt kapital.

9.5.4 Tillämpningar

Den sista komponenten i vårt etiska resonemang är samtidigt den svåraste och mest kontroversiella: *Vilka konkreta tillämpningar kan man göra av dessa etiska överväganden när det gäller utformningen av ett slutförvar för det använda kärnavfallet från svenska kärnkraftverk?*

Den minimala rättvisepincipen och kärnavfallet

Den minimala rättvisepincipen gäller för en överskådlig tidsrymd framåt och innebär enkelt uttryckt att så länge det finns levande varelser på denna planet, så är vi skyldiga att inte göra något idag som skulle kunna hota deras liv och hälsa i framtiden. Konsekvensen för utformningen av ett slutförvar för använt kärnbränsle är både enkel och svår på samma gång.

Kravspecifikationen på slutförvaret blir med denna princip helt entydig: Vi måste bygga ett slutförvar som kan skydda människor och andra levande organisms liv och hälsa hundratals år fram i tiden – eller så länge som man kan förutse att avfallet är farligt. Möjligen kan man hävda att framtidshorisonten bryts vid den tidpunkt då man kan förutse en kommande istid, kanske om 20 000 år. Under denna period kommer livsmöjligheterna i Nordeuropa av lätt insedda skäl att vara begränsade. Huruvida avfallet fortfarande skulle vara hälsovådligt efter en eventuell framtida istid är en fråga som sammanhänger med teorier om den framtida klimatutvecklingen. Om det är sannolikt att en eller flera istider skulle kunna inträffa under den perioden då avfallet fortfarande är skadligt för mänskligt och annat liv, så kräver den minimala rättvisepincipen att vi utformar ett slutförvar som kan motstå dessa påkänningar och i varje fall inte löper risken att förstöras på ett sådant sätt att ett läckage inträffar. Klimatutvecklingen under ett 100 000-årigt perspektiv är enligt SKB:s FUD-program 2001 (kap. 10) föremål för fördjupade studier. I KASAM:s yttrande över FUD-programmet framhålls också att utgångspunkten för säkerhetsanalysen bör vara den tid som det använda kärnbränslet representerar en farlighet. Och man fortsätter:

Osäkerheten i bedömningar och beräkningar kan öka med tiden och detta skall naturligtvis beaktas. Att avstå från långtidsbedömningar på grund av svårigheter kan dock aldrig vara en rimlig ambitionsnivå (*Kärnavfall – forskning och teknikutveckling*, KASAM, 2002, s. 31.)

Ett sådant ställningstagande kan motiveras med den minimala rättvisepincipen, dvs. att vi har en moralisk förpliktelse att nyttja och förbruka naturresurser på ett sådant sätt att vi inte hotar framtida generationers livsmöjligheter. Denna princip kan förtydligas genom att sättas i relation till idén om ett ”avtagande ansvar” och idén om ett ”rullande nu” – och ytterst förankras i en etisk teori av den karaktär som John Rawls presenterat.

Utvecklingen i ett 100 000-årigt perspektiv kräver också en annan sak, nämligen att förvaret måste utformas på ett sådant sätt att det inte ens på så lång sikt kräver något underhåll för att uppfylla sitt syfte: Att undanhålla det skadliga avfallet från det naturliga kretslopp som i detta särskilda fall skulle kunna skada liv och människor. Detta ligger i den s.k. KASAM-principen som formulerades i slutet av 1980-talet: *Ett slutförvar bör utformas så att det dels gör kontroll och åtgärder onödiga, dels inte omöjliggör kontroll och åtgärder* (principen utvecklas närmare i KASAM:s rapport om *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 1998*, SOU 1998:68, ss. 10–11).

Vi ska strax återkomma till kravet att slutförvaret inte bör utsluta ett underhåll. Låt oss först ställa frågan varför ett underhåll inte bör krävas? Svaret är följande: Vi kan inte förutsätta att framtida generationer besitter de tekniska färdigheter som vår nuvarande generation gör. Vi kan inte förutsätta att människor, som lever 10 000 eller 50 000 år efter oss, har sådana tekniska hjälpmedel att de skulle vara kapabla att underhålla eller reparera ett läckande slutförvar. På ett paradoxalt sätt ger här osäkerheten om det framtida samhälls-, teknik- och kunskapsläget ett tydligt stöd för hur vi idag måste utforma ett slutförvar för att göra det på ett moraliskt ansvarigt sätt. *Det måste utformas så att det utan kontroll och vidare åtgärder skyddar de människor, som kommer att leva i dess närhet från och med ca 2050 och ett par 100 000 år fram i tiden.*

Den avgörande frågan blir då följande: Har vi de tekniska resurser och det kunnande, som krävs för att bygga en anläggning som uppfyller detta krav? Enligt många bedömare är svaret på denna fråga positivt. Lösningen heter KBS-3-metoden.

Den innebär att det använda kärnbränslet placeras i kapslar som deponeras i borrhål, cirka 500 meter ned i berggrunden. Kapslarna består av järn med ett hölje av koppar, som ska förhindra att vatten kommer i kontakt med bränslet. Kapslarna omsluts därefter av bentonitlera som ska skydda mot eventuella rörelser i berget och begränsa grundvattnets rörelser omkring kapseln. Efter att kapslarna placerats i berget kommer förvaret att förslutas. KBS-3-metoden är SKB:s huvudalternativ, men den har inte blivit slutgiltigt godkänd av myndigheter och regering.

KASAM framhöll i yttrande över SKB:s FUD-program 1992 att den avgörande säkerhetsfrågan inte är hur lång tid det tar innan bränslekapseln förstörts, utan hur lång tid det tar för de toxiska grundämnena att förflyttas från bränslekapseln till biosfären, dvs. att säkerheten avgörs ytterst av hela barriärsystemets samfunktion. Den mest naturliga spridningsvägen är via grundvattnet till markytan, men giftiga ämnen från det deponerade avfallet kan också nå biosfären i form av gaser eller genom avsiktligt eller oavsiktligt mänskligt intrång.

Sannolikheten för ett avsiktligt mänskligt intrång är naturligtvis omöjlig att beräkna. I den mån tillräcklig information bevaras och överförs på ett tillförlitligt sätt från generation till generation (enligt idén om ett "rullande nu"), så skulle man kunna göra gällande att det avgörande ansvaret för konsekvenserna av ett sådant intrång faller på den som genomför det och inte på den som deponerat avfallet. En tillförlitlig informationsöverföring reducerar också riskerna för ett oavsiktligt intrång.

Den allvarliga frågan blir kanske om vi idag har tillräckliga kunskaper och tillräckliga tekniska resurser att på ett säkert sätt förhindra vattenburet eller gasformigt läckage från förvaret flera 100 000 år fram i tiden. Kommer förvaret att motstå påfrestningar från istider och jordbävningar?

Antag att vi inte kommer att ha ett tillförlitligt svar på denna fråga i den ansökan om uppförande av en slutförvarsanläggning som SKB avser att inlämna till regeringen år 2008. Ska vi då för att undvika att pålägga framtida generationer bördan att ta hand om ett slutförvar ändå uppföra en anläggning, som är det bästa vi

kan åstadkomma? Ett argument mot detta är att vi utsätter framtida generationer för risker, som kanske skulle kunna undvikas om vi valde en lösning som av den amerikanska etikern Kirsten Shader-Frechette kallats NMRS: "negotiated, monitored, retrievable storage facilities", dvs. mellanlagringsanläggningar där avfallet kan övervakas och varifrån det kan återhämtas, när vi har säkrare kunskap och bättre teknik för att bygga ett slutförvar, som skyddar framtida generationer så länge som avfallet kan skada deras liv och hälsa (se Shradet-Frechette 1993 och 1994). Den minimala rättvisepincipen kräver att vi med vår teknik inte hotar framtida generationers livsmöjligheter. Först och främst: Skada inte. Det innebär att vi bör uppföra ett slutförvar bara om vi vet att det är tillräckligt säkert för att skydda framtida generationer. Shader-Frechette anser att om vi inte kan påstå att vi vet detta, så bjuder moralen att vi väntar och ser. I en artikel i *The Bulletin of the Atomic Scientists* 1994 illustrerar hon sin tankegång i anknytning till Sagan om ringen:

Även om han inte avsåg det, antydde J.R.R.Tolkien ett svar på kärnavfallens gåta. Ringen gav makten över alla levande varelser. Men eftersom den var skapad av en ond makt, fördärvade den var och en som försökte att använda den. Hur skulle Hobbiterna, som hade ringen, hantera detta? Erestor uttryckte dilemmat: "Det finns bara två möjligheter som Glorfindel redan har förklarat: Att gömma ringen för evigt, eller att göra den ogjord. Men båda sakerna ligger bortom vår makt. Vem ska lösa gåtan åt oss?"

Mänskligheten kommer kanske att lösa gåtan. Men för närvarande, i USA och på andra ställen, är svårigheterna för stora. Om 100 år, är det kanske inte så (Shader-Frechette 1994, s. 45).

Det har idag gått 10 år sedan denna artikel publicerades. KBS-3-metoden har utvecklats och det är möjligt att vi idag i Sverige har det kunnande och den teknik för att ge kommande generationer det skydd, som vi är skyldiga att ge dem. I så fall finns det inte några etiska skäl att vänta och se – snarare tvärtom.

Erestor talar om två möjligheter: Att gömma ringen för evigt – eller att göra den ogjord. När det gäller kärnavfall heter det

senare alternativet transmutation. I sin artikel från 1994 skriver Shader-Frechette att transmutation skulle kunna vara en användbar metod om cirka 100 år. I kapitel 8 av denna rapport blir denna möjlighet föremål för en grundligare prövning.

Den svaga rättvisepincipen och kärnavfallet

Den svaga rättvisepincipen innebär att vi har en moralisk förpliktelse att utnyttja naturresurserna på ett sådant sätt att framtida människogenerationer kan tillgodose sina grundläggande behov (dvs. behov av arbete, mat, energi, bostad, hälsovård och utbildning). Vi har räknat med att denna rättvisepincip sträcker sig ungefär 300 år framåt i tiden. Om vi bygger ett slutförvar så att det inte skadar levande varelser i ett 100 000-årigt perspektiv, så har vi också sett till att människor om cirka 300 år inte skadas av vårt kärnavfall. Men den svaga rättvisepincipen kräver att vi ska göra något *mer* än att inte hota deras liv och hälsa – den kräver något mer aktivt, nämligen att vi som lever idag ska ta hänsyn till deras grundläggande behov. Men hur kan denna princip vägleda oss till en lösning av slutförvarsfrågan?

Ett slutförvar är olikt de allra flesta andra anläggningar. Den är inte till för att skydda det som finns därinne från något utanför, utan för att skydda något utanför från det som finns därinne. Den är till för att hålla något farligt och skadligt åtskilt från liv och människor med flera massiva barriärer emellan. Dessa barriärer kan under vissa förutsättningar skapa ett paradoxalt problem, nämligen om en framtida generation skulle finna att den på något sätt skulle kunna tillgodogöra sig nyttan av det avfallet. Har vi som nu lever och vill ta ansvar för kärnavfallet i en slutförvarsanläggning egentligen rätt att på ett mer eller mindre drastiskt sätt förhindra för framtida generationer att tillgodogöra sig den eventuella nyttan av kärnavfallet? *Annorlunda uttryckt: Har vi en skyldighet att inte i onödan begränsa framtida generationers handlingsfrihet – och särskilt de som lever upp till 300 år fram i tiden – genom att (a) avstå från att försluta*

förvaret, (b) försluta det men på olika sätt underlätta en återtagbarhet eller (c) försluta det så att det praktiskt taget gör ett framtida återtag omöjligt?

Frågan om återtagbarhet har blivit föremål för olika utredningar och KASAM anordnade 1999 ett större symposium i samarbete med IAEA (*International Atomic Energy Agency*). Föredragen från denna konferens finns publicerade i en särskild rapport (*Retrievability of high level waste and spent nuclear fuel*, IAEA-TECDOC-1187, 2000). I den avslutande diskussionen tog man bland annat upp ett grundläggande dilemma. Det förefaller som om det kan finnas en direkt konflikt mellan två olika krav, som man vill ställa på ett slutförvar. Det ena kravet är att det ska vara så säkert som möjligt under så lång tid som möjligt. Detta krav är en följd av den minimala rättvisepincipen. Det andra kravet är att förvaret ska vara tillgängligt för framtida generationer. Detta är en följd av såväl den starka som den svaga rättvisepincipen. Enligt den svaga rättvisepincipen är vi skyldiga att respektera och skydda framtida generationers rätt att tillgodose sina grundläggande behov. Och till människors mer grundläggande behov tillhör otvivelaktigt behovet av handlingsfrihet och att själva avgöra om man vill eller inte vill använda sig av det slutförvarade kärnbränslet för något ändamål. Men kan man se till att den svagare rättvisepincipen och framtida generationers möjlighet till återtag av kärnavfallet ur slutförvaret uppfylls *samtidigt som man också tillgodoser det som den minimala rättvisan kräver*, nämligen att vi skyddar avlägsna generationer och gör det vi kan för att deras liv och hälsa inte skall hotas av det farliga avfallet?

Det kanske inte finns något klart svar på denna fråga. En möjlig ståndpunkt är då följande: Om man inte samtidigt kan tillgodose framtida generationers handlingsfrihet och på samma gång också minimera risken för att människor långt in i framtiden skyddas från livshotande skador från vårt använda kärnbränsle, så bör den minimala rättvisepincipen – dvs. vår förpliktelse att inte hota framtida generationers livsmöjligheter – ges företräde. Med andra ord: Principen att inte riskera att fram-

tida generationer utsätts för skada väger tyngre än vår skyldighet att ta hänsyn till möjligheten att en inte alltför avlägsen generation skulle vilja få tillgång till det slutförvarade kärnavfallet och använda det för något ändamål. I denna bemärkelse kan man alltså sätta ett frågetecken för det första ledet i den s.k. KASAM-principen, dvs. att slutförvaret ska utformas så att det möjliggör ett återtagande. Om det medför att vi i något avseende måste tumma på den långsiktiga säkerheten, så är det vår skyldighet att i första hand tänka på säkerheten.

Därtill kommer också en annan risk med att underlätta ett återtag, nämligen att en inte alltför avlägsen generation människor – eller kanske en annan makt – skulle vilja återta avfallet för att använda det för destruktiva syften.

Den starka rättvisepincipen och kärnavfallet

Den starka rättvisepincipen medför – negativt uttryckt – att vi som lever just nu inte har rätt att vidta åtgärder som kan ge efterkommande generationer en mer begränsad livskvalitet än den vi själva har. Omhändertagandet och slutförvaret av kärnavfallet kan betraktas som en sådan börda för framtida generationer att det vore orätt av den nuvarande generationen att inte tillse att en slutförvaring kommer till stånd. Enligt den minimala rättvisepincipen måste vi dessutom utforma denna slutförvaring på ett sådant sätt att framtida generationer – under den tid som kärnavfallet utgör en risk för deras liv och hälsa – utformas på ett sätt som minimerar denna risk. Den starka rättvisepincipen går ytterligare ett steg längre. Vi har en skyldighet att se till att de som lever 5–6 generationer efter oss kan uppnå en likvärdig livskvalitet. Det innebär att vi inte får belasta dem med sådana bördor att de förhindras att tillgodose inte bara sina grundläggande behov utan också kunna njuta av livet på det sätt vi har kunnat göra i vår nuvarande situation. Vilka konsekvenser medför detta för slutförvaringen av kärnavfallet?

Svaret är *för det första* att vi inte kan skjuta över ansvaret till en kommande generation och att vi som njutit fördelarna av kärnkraften också måste ta på oss ansvaret att bygga ett långsiktigt säkert slutförvar för det använda kärnbränslet (om vi har kunskap och teknik att göra detta). Om det finns metoder att genomföra ett projekt som uppfyller en sådan kravspecifikation, är det vår skyldighet att anta denna moraliska utmaning.

Men – *för det andra* – kan den starka rättvisepincipen också pålägga oss en annan förpliktelse. Vi har en skyldighet att till nästa generation överföra resurser, som gör det möjligt för den att om behov föreligger kunna förbättra slutförvaret. Grundfrågan blir här: Är det sannolikt att ett sådant behov kommer att föreligga? Sannolikheten är kanske mycket låg. Det hindrar inte att det kan finnas en liten, men inte helt försumbar risk att sådana förbättringar av slutförvaret visar sig nödvändiga om t.ex. 75–100 år och att det skulle kunna pålägga en kommande generation en avsevärd börda att åstadkomma en sådan förbättring. Denna börda skulle under vissa omständigheter kunna bli så stor att den begränsar våra barnbarns barn deras möjlighet att uppnå en livskvalitet som är likvärdig med vår. Om man räknar med att våra barnbarns barn kan få en hel del andra miljöproblem i arv från oss, och om man dessutom betänker att det finns en mycket större risk att samhällets tillgångar inte kommer att bli lika omfattande som idag, blir behovet av någon slags intergenerationell försäkring en inte helt ovidkommande moralisk fråga. Man kan ta en analogi med ett rederi, som har ansvar att förse sina färjor och passagerarfartyg med livbåtar, eller ett flygbolag som inte bara är skyldigt att utrusta sina flygplan med flytvästar, nödutgångar och annan säkerhetsutrustning. Ett rederi eller ett flygbolag har också skyldighet att mer långsiktigt utveckla säkerheten.

Man skulle mot denna bakgrund kunna resonera på följande sätt. Vi i den nuvarande generationen har njutit fördelarna av kärnkraften. Men har vi betalat hela priset? I viss mån kan man säga att vi har gjort det – av varje kilowattimme elström betalar elkonsumenten sedan 1980-talet några tiondels ören för om-

händertagandet av kärnavfallet. Beloppet täcker också olika skydds- och säkerhetsåtgärder under själva uppförandet av ett slutförvar samt kostnader för en inkapslingsanläggning och för rivning av kärnkraftverken. I långa stycken kan vi förutse hur dessa säkerhetssystem ska utformas och hur de ska se ut under konstruktionsperioden och i samband med att det farliga bränslet deponeras. När bränslet väl är på plats måste riskerna för läckage från kapslar och deponeringsplats ha minimerats. Möjligheter för reparerbarhet kan delvis förutses och byggas in i slutförvarssystemet. Men det finns risker som vi inte kan förutse, men som efterkommande generationer kan ha större kunskaper om – och behöva ha tillgång till större resurser för att kunna åtgärda. En konsekvens av den starka rättvisepincipen skulle kunna vara att vi är skyldiga att ”försäkra” framtida generationer mot risker som vi inte kan förutse och de bördor som nödvändiga förbättringar av slutförvaret kan medföra. En sådan försäkring skulle kunna utformas som en fondering av ekonomiska resurser för de närmaste 150 åren. Vill vi ta på oss den bördan och är det praktiskt möjligt att fondera ekonomiska resurser i ett sådant tidsperspektiv?

Detta aktualiserar på ett mycket konkret sätt idén om ett ”rullande nu”. För att ett sådant försäkringssystem ska fungera krävs en fungerande överföring av kunskaper, resurser, värderingar och institutioner från en generation till en annan, dvs. från oss till våra barn och från oss och dom till våra barnbarn osv. Varje generation måste tillerkännas någon slags handlingsfrihet när det gäller inriktningen och användningen av de ackumulerade resurserna. Allt detta skulle kunna vara en konkretisering av begreppet om ett rullande nu (introducerad i *Ansvar, rättvisa och trovärdighet – etiska dilemman kring kärnavfall*, 1999, s. 28). Det aktualiserar en mängd frågor som inte kan få ett genomarbetat svar i detta sammanhang, t.ex. frågan om utformningen av ett robust och uthålligt försäkringssystem – och om ett sådant system också är motiverat för andra giftiga ämnen som vi som lever i den nuvarande generationen har spridit i miljön och som

pålägger framtida generationer mer eller mindre långtgående saneringsbördor.

Det kan dock finnas ett annat och mer konkret ändamål för en sådan "slutförvarsförsäkring". Enligt den tidigare nämnda KASAM-principen bör ett slutförvar utformas så att det dels gör kontroll och åtgärder onödiga, dels inte omöjliggör kontroll och åtgärder. Men hur ska man samtidigt kunna tillgodose behovet av kontroll och total isolering av förvaret från biosfären? Medför inte kontroll att man måste kompromissa med säkerheten? Om det finns en sådan konflikt, kan det vara ett skäl att uppskjuta den slutliga förslutningen av förvaret tills man har hittat en teknisk lösning på kontrollfrågan som inte innebär att man behöver kompromissa med den långsiktiga säkerheten. Detta förutsätter att det finns resurser för teknikutveckling – och åtaganden från den nu levande generationen – som maximerar möjligheterna för framtagandet av en teknik som upplöser konflikten mellan kontrollkravet och säkerhetskravet.

9.6 Slutsatser

Kärnavfallsfrågan är inte endast en fråga om den tekniska konstruktionen av ett system för slutförvaring. Det handlar också om etiska och moraliska frågor som bland annat berör vårt ansvar för kommande generationer. Detta kapitel är till sin karaktär en etisk reflektion över detta ansvar.

Det använda kärnbränslet är farligt för människors hälsa och miljön i 100 000-tals år, dvs. till dess strålningen avklingat till mycket låg nivå.

- *Den minimala rättvisep principen* kräver att vi inte hotar framtida generationers livsmöjligheter. Detta innebär att vi – den generation som har njutit fördelarna av kärnkraften – har en moralisk skyldighet att skapa hållbara förutsättningar för att undanhålla det skadliga avfallet från det naturliga kretsloppet under denna långa tid. Ett slutförvar för använt kärnbränsle

måste därför utformas på ett sådant sätt att det inte ens på lång sikt kräver något underhåll eller övervakning. Samtidigt måste framtida generationer ges möjlighet att kontrollera förvaret och att förbättra omhändertagandet av avfallet. Detta ligger i den s.k. KASAM-principen som formulerades i slutet av 1980-talet: *Ett slutförvar bör utformas så att det dels gör kontroll och åtgärder onödiga, dels inte omöjliggör kontroll och åtgärder.* Men om möjligheten till kontroll innebär att den långsiktiga säkerheten blir mindre än om vi avstår från en sådan kontroll, så bör vi prioritera den långsiktiga säkerheten och avstå från kontrollmöjligheten

- *Den svaga rättvisepincipen* säger oss att vi också har ett ansvar och en skyldighet att utnyttja naturresurserna på ett sådant sätt att framtida generationer kan tillgodose sina grundläggande behov. Det innebär att vi inte i onödan ska förhindra framtida generationers handlingsfrihet – och särskilt de som lever upp till ca 300 år fram i tiden – t.ex. att kunna utnyttja avfallet som en resurs, dvs. att möjliggöra ett återtagande. Detta gäller dock endast under förutsättning att den långsiktiga säkerheten inte minskar. Vår skyldighet att inte riskera att framtida generationer utsätts för skada väger således tyngre än vår skyldighet att ta hänsyn till att en inte alltför avlägsen generation skulle vilja återta avfallet för något ändamål.
- *Den starka rättvisepincipen* innebär ett ansvar i vårt handlande så att efterkommande generationer – upp till ca 150 år framåt i tiden – kan förväntas uppnå en likvärdig livskvalitet som den vi själva har, dvs. att kunna njuta av livet på det sätt som vi har kunnat göra i vår nuvarande livssituation. Uppbyggnaden av Kärnavfallsfonden, med syfte att säkerställa ekonomiska resurser för att slutligt ta hand om det svenska kärnavfallet, bidrar till våra möjligheter att ta detta ansvar.

Referenser

- Ansvar , rättvisa och trovärdighet – etiska dilemman kring kärnavfall.* Kommentus 1999.
- Beauchamp, Tom L. & Childress, James F., *Principles of Biomedical Ethics.* New York & Oxford: Oxford University Press 1979 och senare upplagor.
- Från en art till en annan – transplanatation från djur till människa.* Betänkande från Xenotransplanationskommittén. SOU 1999:120.
- Kadak, Andrew C. ”An intergenerational approach to high-level waste disposal” I *Nuclear News*, July 1997.
- Kjellman, Sten. *Det svenska kärnavfallsprogrammet.* SKB 2000.
- Slutförvaring av använt kärnbränsle – KASAM:s yttrande över SKB:s FUD-program 92.* Rapport av Statens råd för kärnavfallsfrågor – KASAM, SOU 1993:67.
- Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 1998.* Rapport av Statens råd för kärnavfallsfrågor – KASAM, SOU 1998:68.
- Kärnavfall – forskning och teknikutveckling.* SKB:s FUD-program 2001.
- Larsson, Karl-Erik. *Vetenskap i kärnkraftens skugga.* Distribution: KTH, Stockholm 1999.
- Naturresursers nyttjande och hävd.* Betänkande av Naturresurs- och miljökommittén, Jordbruksdepartementet, SOU 1983:56, Stockholm.
- Osäkerhet och beslut.* SKN (Statens kärnbränslenämnd) 1991
- Rawls, John. *A Theory of Justice.* London: Oxford University Press 1971.
- Retrievability of High Level Waste and Spent Nuclear Fuel.* IAEA Tecdoc 1187. 2000
- Shader-Frechette, Katrin. *Burying Uncertainty. Risk and the Case against Geological Disposal of Nuclear Waste.* Berkeley and Los Angeles: University of California Press 1993.
- Shader-Frechette, Katrin. ”High-level waste, low-level logic”, *The Bulletin of Atomic Scientists.* Nov-Dec 1994.

Stenmark, Mikael. *Miljöetik och miljövard. Miljöfrågornas värderingsmässiga dimension*. Lund: Studentlitteratur 2000.

Vår gemensamma framtid. Världskommissionen för miljö och utveckling. Stockholm: Bokförlaget Prisma och Tidens förlag 1988.

Avslutning

Vid driften av de svenska kärnkraftverken skapas årligen betydande mängder högaktivt, långlivat avfall i form av använt kärnbränsle och annat radioaktivt avfall. Möjligheterna att på ett säkert sätt hantera och att slutförvara detta farliga avfall är av avgörande betydelse för människors hälsa och för miljön, nu och för en mycket lång tid framåt.

I de allra flesta länderna med kärnkraft finns en gemensam grundsyn på hur kärnavfallsfrågorna bör lösas. Denna gemensamma grundsyn manifesteras genom den internationella kärnavfallskonventionen, som de flesta länder har anslutit sig till. Sverige var ett av de första länderna, som anslöt sig till konventionen. En internationell utblick visar att Finland, Sverige och USA har nått längst med att förverkliga slutförvaring av använt kärnbränsle, både i fråga om teknikval och platsvalsprocess.

Att anlägga en inkapslingsanläggning eller ett geologiskt slutförvar för använt kärnbränsle eller annat kärnavfall berör många personer och institutioner i samhället. Kärnkraftsindustrin, staten och kommunerna är tre huvudaktörer men även enskilda individer och frivilligorganisationer är i hög grad berörda av samråd, miljökonsekvensbedömningar, platsundersökningar samt val av metod och plats inför en eventuell lokalisering av dessa anläggningar. En framgångsrik samråds- och prövningsprocess förutsätter ett starkt engagemang inte minst av de berörda kommunerna. Den förutsätter också att de berörda aktörerna ges tillräckliga resurser och möjligheter till kunskapsuppbyggnad.

Den svenska modellen för samråds- och beslutsprocessen i frågor om kärnavfall, med omfattande informationsutbyte i ett förstudieskede och med ett mera formellt samrådsförfarande (enligt 6 kap. miljöbalken) i ett senare skede, präglas av öppenhet, dialog och demokrati i de berörda kommunerna. Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har genomfört s.k. tidiga samråd med närboende och länsstyrelserna i Uppsala och Kalmar län samt har därefter inlett s.k. utökade samråd med miljökonsekvensbedömning med statliga myndigheter, kommuner, allmänheten och organisationer som kan antas bli berörda av verksamheten. Aktuella kommuner är Östhammar och Oskarshamn.

Val av bästa möjliga teknik och val av lämplig plats (som innebär minsta påverkan på människors hälsa och miljön), i det tidsperspektiv som gäller för ett slutförvar för använt kärnbränsle, ställer mycket stora krav på beslutsunderlaget för prövning enligt bland annat kärntekniklagen och miljöbalken.

Ingående kunskaper om de tekniska och naturliga barriärerna är nödvändiga vid djupförvaring i berg. Det vetenskapliga underlaget för beräkningar av berggrundens mekaniska och kemiska stabilitet samt genomsläpplighet för radioaktiva ämnen under ca 100 000 år framåt i tiden är en viktig del av förutsättningarna för säkerhetsanalysen. Kunskap om den pågående deformationen av berggrunden är ett nyckelproblem för att kunna göra prognoser om stabiliteten. Metoderna för mätning och modellering av rörelser i berggrunden behöver därför vidareutvecklas. Detta gäller i hög grad även för att kunna beskriva och modellera grundvattenförhållandena ner till förvarsdjup. Genom noggrann mätning av isotopkvoter (naturliga och andra isotoper) kan man få ytterligare viktig information om mekanismerna för transport av olika grundämnen från djupförvaret.

Behovet av metodutveckling gäller även för tillverkning och kontroll av de tekniska barriärerna. För kapseln behövs en utveckling av acceptanskriterier och en analys av konsekvenserna om dessa inte uppfylls. Det är också viktigt att dessa kriterier kan verifieras med oförstörande provningsmetoder och att det formuleras ett system för att kvalitetssäkra kapseltillverkningen.

Vid en sammanvägd bedömning av en avfallsanläggnings konsekvenser för människors hälsa och miljön är det angeläget att kunna jämföra risken på grund av radioaktiviteten i avfallet med risken på grund av avfallets kemiska giftighet. För en rättvis bedömning är det dessutom viktigt att kunna göra bättre jämförelser, mellan kärnavfallens farlighet och farligheten hos andra typer av avfall, än vad som hittills varit möjligt med dagens klassificeringssystem. En tydlig koppling mellan klassificeringen och kraven på att skydda människornas hälsa kommer förhoppningsvis att öka allmänhetens förtroende för avfallshanteringen och deponeringsverksamheten.

Miljökonsekvensbeskrivningen, som skall höra till en ansökan om regeringens tillstånd för att bygga ett slutförvar, skall även belysa alternativa metoder för att ta hand om kärnavfallet. Transmutation har nämnts i detta sammanhang. Tekniken syftar i princip mot de allmänna mål som gäller för hantering av avfall i allmänhet, nämligen utnyttjande av det använda bränslet som en resurs (för ytterligare energiproduktion) samt en minskning av avfallets farlighet och mängd.

Med dagens kunskap om denna teknik är det dock inte acceptabelt att avbryta eller senarelägga det svenska slutförvarsprogrammet, med hänvisning till transmutation som ett möjligt alternativ. Däremot stärker detta möjliga framtida alternativ kravet på att förvaret skall utformas så att återtagning av avfallet blir möjlig. Enligt de etiska principer, som bland andra KASAM ställt upp, bör varje generation ta hand om sitt eget avfall och inte tvinga framtida generationer att utveckla ny teknik för att lösa problemen. Därför är det rimligt att resurser avsätts för fortsatt forskning om transmutation.

Kärnavfallsfrågan är inte endast en fråga om den tekniska konstruktionen av ett system för slutförvaring. Det handlar också om etiska och moraliska värderingar som bland annat berör vårt ansvar för kommande generationer. – Det använda kärnbränslet är farligt för människors hälsa och miljön i 100 000-tals år.

Vår generation, som har njutit fördelarna av kärnkraften, har en moralisk skyldighet att skapa hållbara förutsättningar för att undanhålla det skadliga avfallet från det naturliga kretsloppet under denna långa tid.

Vi skall inte heller i onödan förhindra framtida generationers handlingsfrihet, t.ex. att kunna utnyttja avfallet som en resurs, dvs. att möjliggöra ett återtagande. Detta gäller dock endast under förutsättning att den långsiktiga säkerheten inte minskar. Vår skyldighet att inte riskera att framtida generationer utsätts för skada väger således tyngre än vår skyldighet att ta hänsyn till att en inte alltför avlägsen generation skulle vilja återta avfallet för något ändamål.

Vi har även ett ansvar i vårt handlande så att efterkommande generationer kan uppnå en likvärdig livskvalitet som den vi själva har. Uppbyggnaden av Kärnavfallsfonden, med syfte att säkerställa ekonomiska resurser för att slutligt ta hand om det svenska kärnavfallet, bidrar till våra möjligheter att ta detta ansvar.

Statens offentliga utredningar 2004

Kronologisk förteckning

1. Ett nationellt program om person-säkerhet. Ju.
2. Vem tjänar på att arbeta? Bilaga 14 till Långtidsutredningen 2003/04. Fi.
3. Tvång och förändring. Rättssäkerhet, vårdens innehåll och eftervård. + Bilagor. S.
4. Förnybara fordonsbränslen. Nationellt mål för 2005 och hur tillgängligheten av dessa bränslen kan ökas. M.
5. Från klassificering till urval. En översyn av Totalförsvarets pliktverk. Fö.
6. Översyn av personuppgiftslagen. Ju.
7. Ledningsrätt. Ju.
8. Folkbildning och lärande med ITK-stöd – en antologi om flexibelt lärande i folkhögskolor och studieförbund. U.
9. Bokpriskommissionens fjärde delrapport. Det skall vara billigt att köpa böcker och tidskrifter IV. Ku.
10. Rätten till skadestånd enligt konkurrenslagen. N.
11. Sveriges ekonomi – utsikter till 2020. Bilaga 1–2 till Långtidsutredningen 2003/04. Fi.
12. Patientskadelagen och läkemedelsförsäkringen – en översyn. S.
13. Samhällets insatser mot hiv/STI – att möta förändring. S.
14. Det ofullständiga pusslet. Behovet av att utveckla den ekonomiska styrningen och samordningen när det gäller länsstyrelserna. Fi.
15. Tolkförmedling. Kvalitet registrering tillsyn. Ju.
16. Digital Radio. Ku.
17. Turistfrämjande för ökad tillväxt. N.
18. Brottsförebyggande kunskapsutveckling. Ju.
19. Långtidsutredningen 2003/04. Fi.
20. Genetik, integritet och etik. S.
21. Egenförsörjning eller bidragsförsörjning? Invandrarna, arbetsmarknaden och välfärdsstaten. Ju.
22. Allmänhetens insyn i partiets och valkandidaters intäkter. Ju.
23. Från verksförordning till myndighetsförordning. Fi.
24. Utlandstjänstens villkor. Arbetsvillkor, ersättningssystem och skatteregler för statligt anställda under utlandsstationering. UD.
25. Informera om samhällets säkerhet. Fö.
26. Arbetstid vid vägtransporter – förslag till ny lag. N.
27. En Ny Doktorsutbildning – kraftsamling för excellens och tillväxt. U.
28. Hyressättning av vissa ändamålsbyggnader. Fi.
29. Tre vägar till den öppna högskolan. U.
30. Folkbildning i brytningstid – en utvärdering av studieförbund och folkhögskolor. U.
31. Flyktingskap och könsrelaterad förföljelse. UD.
32. Informationssäkerhet i Sverige och internationellt – en översikt. Fö.
33. Kunskap för integration. Om makt i skola och utbildning i mångfaldens Sverige. Ju.
34. Regional utveckling – utsikter till 2020. Bilaga 3 till Långtidsutredningen 2003/04. Fi.
35. Utan timplan – med målen i sikte. U.
36. Reformerade egendomsskatter. Fi.

37. Miljöbalkens sanktionssystem och hänsynsregler. M.
38. Alternativ för miljöbalkens prövningsorganisation. M.
39. Nytt regelverk för marksänd digital-TV. Ku.
40. Kortare instanskedja och ökad samordning. Alternativ för plan- och bygglagens prövningsorganisation. M.
41. Totalförsvarets forskningsinstitut. En översyn. Fö.
42. Lärare, forskare och läkare – tre kompetenser i en befattning. U.
43. Den könsuppdelade arbetsmarknaden. N.
44. Kan vi räkna med de äldre? Bilaga 5 till Långtidsutredningen 2003/04. Fi.
45. Nationaldagen – ny helgdag. Ju.
46. Svensk kod för bolagsstyrning. Förslag från Kodgruppen. Ju.
47. Näringslivet och förtroendet. + Bilagedel. Ju.
48. Kategorisering och integration. Om föreställda identiteter i politik, forskning, media och vardag. Ju.
49. Engagemang, mångfald och integration. Om möjligheter och hinder för politisk jämlikhet. Ju.
50. Skolans ansvar för kränkningar av elever. U.
51. Vem får vara med? En belysning av folkbildningens relation till icke deltagarna. U.
52. Samhällets behov av betaltjänster. N.
53. Bevara ljud och rörlig bild. Insamling, migrering – prioritering. U.
54. Handikappolitisk samordning – organisation för strategi och genomförande. S.
55. Ett utvidgat skydd mot könsdiskriminering. Ju.
56. E-tjänster för alla. Fi.
57. Tillsyn för säkra varor och öppna marknader. UD.
58. Försvarshögskolan. En översyn. Fö.
59. Kvinnors organisering. Ju.
60. Samspel och integration. Nationell organisation för deltagande i EU:s forsknings- och utvecklingsarbete. U.
61. En översyn av Brottsoffermyndigheten. Ju.
62. Handla för bättre klimat – handel med utsläppsrätter 2005–2007, m.m. N.
63. Skatt på väg. Fi.
64. Allmänna vattentjänster. M.
65. En statsförvaltning i utveckling och förnyelse. Fi.
66. Egendomsskatter. Reform av arvs- och gåvoskatter. Fi.
67. Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2004. M.

Statens offentliga utredningar 2004

Systematisk förteckning

Justitiedepartementet

Ett nationellt program om personsäkerhet. [1]

Översyn av personuppgiftslagen. [6]

Ledningsrätt. [7]

Tolkförmedling. Kvalitet registrering tillsyn. [15]

Brottsförebyggande kunskapsutveckling. [18]

Egenförsörjning eller bidragsförsörjning? Invandrarna, arbetsmarknaden och välfärdsstaten. [21]

Allmänhetens insyn i partiers och valkandidaters intäkter. [22]

Kunskap för integration. Om makt i skola och utbildning i mångfaldens Sverige. [33]

Nationaldagen – ny helgdag. [45]

Svensk kod för bolagsstyrning. Förslag från Kodgruppen. [46]

Näringslivet och förtroendet. + Bilagedel. [47]

Kategorisering och integration. Om föreställda identiteter i politik, forskning, media, och vardag. [48]

Engagemang, mångfald och integration. Om möjligheter och hinder för politisk jämlikhet. [49]

Ett utvidgat skydd mot könsdiskriminering. [55]

Kvinnors organisering. [59]

En översyn av Brottsoffermyndigheten. [61]

Utrikesdepartementet

Utlandstjänstens villkor. Arbetsvillkor, ersättningsystem och skatteregler för statligt anställda under utlandsstationering. [24]

Flyktingskap och könsrelaterad förföljelse. [31]

Tillsyn för säkra varor och öppna marknader. [57]

Försvarsdepartementet

Från klassificering till urval. En översyn av Totalförsvarets pliktverk. [5]

Informera om samhällets säkerhet. [25]

Informationssäkerhet i Sverige och internationellt – en översikt. [32]

Totalförsvarets forskningsinstitut. En översyn. [41]

Försvarshögskolan. En översyn. [58]

Socialdepartementet

Tvång och förändring, Rättssäkerhet, vårdens innehåll och eftervård. + Bilagor. [3]

Patientskadelagen och läkemedelsförsäkringen – en översyn. [12]

Samhällets insatser mot hiv/STI – att möta förändring. [13]

Genetik, integritet och etik. [20]

Handikappolitisk samordning – organisation för strategi och genomförande. [54]

Finansdepartementet

Vem tjänar på att arbeta? Bilaga 14 till Långtidsutredningen 2003/04. [2]

Sveriges ekonomi – utsikter till 2020. Bilaga 1–2 till Långtidsutredningen 2003/04. [11]

Det ofullständiga pusslet. Behovet av att utveckla den ekonomiska styrningen och samordningen när det gäller länsstyrelserna. [14]

Långtidsutredningen 2003/04. [19]

Från verkförförordning till myndighetsförordning. [23]
Hyressättning av vissa ändamålsbyggnader. [28]
Regional utveckling – utsikter till 2020. Bilaga 3 till Långtidsutredningen 2003/04. [34]
Reformerade egendomsskatter. [36]
Kan vi räkna med de äldre? Bilaga 5 till Långtidsutredningen 2003/04. [44]
E-tjänster för alla. [56]
Skatt på väg. [63]
En statsförvaltning i utveckling och förnyelse. [65]
Egendomsskatter. Reform av arvs- och gåvoskatter. [66]

Utbildningsdepartementet

Folkbildning och lärande med ITK-stöd – en antologi om flexibelt lärande i folkhögskolor och studieförbund. [8]
En Ny Doktorsutbildning – kraftsamling för excellens och tillväxt. [27]
Tre vägar till den öppna högskolan. [29]
Folkbildning i brytningstid – en utvärdering av studieförbund och folkhögskolor. [30]
Utan timplan – med målen i sikte. [35]
Lärare, forskare och läkare – tre kompetenser i en befattning. [42]
Skolans ansvar för kränkningar av elever. [50]
Vem får vara med? En belysning av folkbildningens relation till icke deltagarna. [51]
Bevara ljud och rörlig bild. Insamling, migrering – prioritering. [53]
Samspel och integration. Nationell organisation för deltagande i EU:s forsknings- och utvecklingsarbete. [60]

Kulturdepartementet

Bokpriskommissionens fjärde delrapport. Det skall vara billigt att köpa böcker och tidskrifter IV. [9]
Digital Radio. [16]
Nytt regelverk för marksänd digital-TV. [39]

Miljödepartementet

Förnybara fordonsbränslen. Nationellt mål för 2005 och hur tillgängligheten av dessa bränslen kan ökas. [4]
Miljöbalkens sanktionssystem och hänsynsregler. [37]
Alternativ för miljöbalkens prövningsorganisation. [38]
Kortare instanskedja och ökad samordning. Alternativ för plan- och bygglagens prövningsorganisation. [40]
Allmänna vattentjänster. [64]
Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2004. [67]

Näringsdepartementet

Rätten till skadestånd enligt konkurrenslagen. [10]
Turistfrämjande för ökad tillväxt. [17]
Arbetsvid vid vägtransporter – förslag till ny lag. [26]
Den könsuppdelade arbetsmarknaden. [43]
Samhällets behov av betaltjänster. [52]
Handla för bättre klimat – handel med utsläppsrätter 2005–2007, m.m. [62]