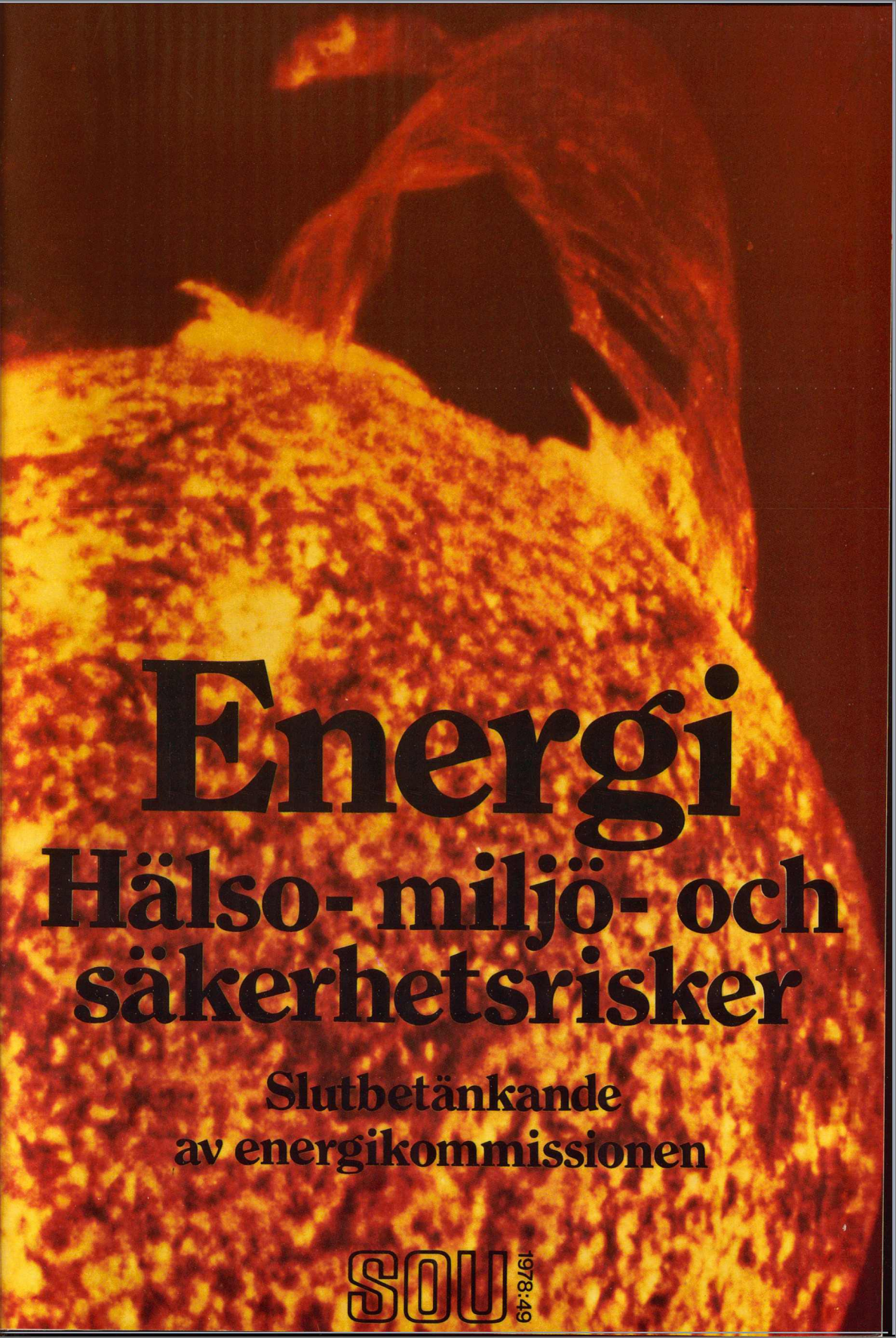
Energi

Slutbetänkande av energikommissionen

SOU 1978:49



Energi
Hälso- miljö- och säkerhetsrisker

Slutbetänkande av energikommissionen

SOU 1978:49

Statens offentliga utredningar
1978:49
Industridepartementet

Energi

Hälso- miljö- och säkerhetsrisker

Slutbetänkande av energikommissionen

Stockholm 1978

Omslag Håkan Lindström
Jernström Offsettryck AB

ISBN 91-38-04238-X
ISSN 0375-250X
Gotab, Stockholm 1978

TILL INDUSTRIDEPARTEMENTET

Regeringen bemyndigade den 22 december 1976 statsrådet Johansson att tillkalla en kommission med uppdrag att bl.a. utarbeta alternativa förslag till energipolitikens utformning för tiden fram till år 1990. Kommissionens direktiv har kompletterats genom tilläggsdirektiv den 23 februari 1978.

Med stöd av bemyndigandet tillkallades fr.o.m. den 1 januari 1977 som ledamöter generaldirektören Ove Rainer, tillika ordförande, förbundssekreteraren Björn Bergman, professorn Kai Curry-Lindahl, riksdagsledamoten Birgitta Dahl, tekn.dr Ingmar Eidem, förbundsordföranden Lars Engqvist, riksdagsledamoten Birgitta Hambraeus, direktören Olof Hörmander, docenten Björn Kjellström, författaren Per Kågeson, biträdande överläkaren Nils-Erik Landell, riksdagsledamoten Bengt Sjönell, statssekreteraren Carl Tham, ombudsmannen Ulf Westerberg och riksdagsledamoten Anders Wijkman.

I mars 1978 överlämnade vi vårt huvudbetänkande (SOU 1978:17) Energi med beskrivning av beräknade alternativa huvudinriktningar av energipolitiken för tiden fram till år 1990. I huvudbetänkandet lämnade vi även en översiktlig bedömning avseende tiden fram till omkring år 2000 samt redovisade överväganden och förslag till åtgärder på energiområdet som statsmakterna bör vidta.

Under våren 1978 har inom kommissionens expertgrupp för säkerhet och miljö slutförts vissa kompletterande arbeten rörande bl.a. miljöeffekter förknippade med energisparande åtgärder och avfallsproblem samt katastrofrisker. Våra överväganden i slutbetänkandet bygger i huvudsak på det samlade material som har tagits fram inom expertgruppen för säkerhet och miljö.

Vi överlämnar härmed vårt slutbetänkande (SOU 1978:49) Energi Hälso- miljö- och säkerhetsrisker. Slutbetänkandet är - som vi aviserade i huvudbetänkandet - en komplettering till huvudbetänkandet vad gäller hälso-, miljö- och säkerhetsrisker på energiområdet samt en redovisning av överväganden och förslag i anslutning därtill.

Vårt uppdrag är härmed slutfört.

Reservationer har lämnats av ledamöterna Curry-Lindahl, Hambraeus, Kjellström, Kågeson och Sjönell.

Särskilda yttranden har lämnats av ledamöterna Hambraeus och Sjönell, Kjellström, Kågeson samt Landell.

Stockholm den 13 juni 1978.

Ove Rainer

Björn Bergman	Kai Curry-Lindahl	Birgitta Dahl
Ingmar Eidem	Lars Engqvist	Birgitta Hambraeus
Olof Hörmander	Björn Kjellström	Per Kågeson
Nils-Erik Landell	Bengt Sjönell	Carl Tham
Ulf Westerberg	Anders Wijkman	

/ Per Anders Örtendahl

Lars Hjorth

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING [1]

Energikommissionen har i sitt huvudbetänkande (SOU 1978:17) Energi redovisat sina överväganden och lagt fram sina förslag med den reservationen att det i det fortsatta utredningsarbetet inte framkommer något som väsentligen ändrar förutsättningarna för vad som sägs i huvudbetänkandet. Vad som därvid avsågs var de ytterligare utredningsresultat beträffande bl.a. hälsorisker, risker för stora olyckor och sabotage samt med avfallshantering redovisas här. Redovisningen är här upplagd som en jämförelse av sådana risker vid olika energislag.

Risker för stora olyckor

Risker för olyckor med stora konsekvenser i form av sjukdomar och dödsfall eller omfattande miljöskador föreligger framförallt vid kolbrytning under jord, vid utvinning, hantering, förädling och lagring av olja och gas, vid kärnkraftverk och vid vattenkraftdammar.

Energikommissionen konstaterar sammanfattningsvis att sannolikheterna för stora olyckor är av samma storleksordning vid kolbrytning, oljehantering, kärnkraftverk och vattenkraftdammar.

Konsekvenserna av en olycka är i hög grad beroende av omständigheterna vid olyckstillfället. De troligaste konsekvenserna av en olycka vid en vattenkraftdamm eller ett kärnkraftverk är av samma storleksordning. Men vid ett kärnkraftverk kan tänkas kombinationer av olyckliga omständigheter som skulle kunna leda till omfattande konsekvenser i form av döda och skadade och radioaktiv markbeläggning. Det bör dock observeras att detta är resultat av hypotetiska antaganden. Vid oljehantering är riskerna för mycket omfattande miljöskador störst i samband med utvinning och transport av olja till havs. Vissa risker för allmänheten finns främst vid transporter av lätta oljeprodukter i tätorter. De långsiktiga skadeverkningarna av stora oljeutsläpp framför allt i innanhav som Östersjön måste bedömas som mycket allvarliga. De största riskerna vid en naturgasimport till Sverige är förbundna med transport och lagring av LNG. Risken för stora olyckor synes

---

1) För utformningen av detta avsnitt svarar kommissionens informationsansvarige Yngve Feuk.

härvid vara mindre än övriga risker nämnda ovan. Men de relativt stora tänkbara konsekvenserna motiverar ändå stor uppmärksamhet på dessa frågor om LNG skulle komma att importeras till Sverige.

Avfallsproblem

Avfall som måste deponeras uppkommer vid förbränning av olika bränslen, t.ex. kol, olja, biomassa, vid skifferbrytning och vid drift av kärnkraftverk.

Kommissionen noterar att den inte sett som sin uppgift att i detalj ta ställning till vilken lösning på avfallsfrågorna som bör förordas. Detta motiveras bl.a. av att beslut om detaljutformningen av avfallshanteringen ej behöver fattas i dag. Kommissionen har inte heller sett som sin uppgift att ta ställning till om villkorslagens krav är uppfyllt genom det s.k. KBS-projektet. Den uppgiften vilar på regeringen. Kommissionen har istället försökt bedöma huruvida de olika tekniska lösningar som lagts fram erbjuder möjligheter att på ett betryggande sätt lösa problemet.

Kommissionens ställningstagande

Utredningarbetet inom kommissionen har visat att samtliga energislag som i ett kortare tidsperspektiv kan ge mer betydande bidrag till vår energiförsörjning är förenade med risker för hälsa och miljö. Det gäller även energiomvandling som kan bli av större betydelse i framtiden, främst olika former av solenergi, även om sådan energiomvandling i dag tycks erbjuda väsentliga miljöfördelar. De miljö- och hälsorisker som är förenade med olika energiomvandlingsprocesser måste dels vägas mot varandra, dels bedömas mot bakgrund av processernas sociala nytta.

I huvudbetänkandet har kommissionen gjort en sådan avvägning. Den grundades på ett synnerligen omfattande bakgrundsmaterial, inte minst vad avser miljö- och riskfrågorna. De olika tänkbara handlingsalternativen bedömdes också med hänsyn till deras skiftande effekter på samhällsekonomin och därmed på landets ekonomiska och sociala utveckling.

Kommissionen konstaterade att Sverige i likhet med andra länder befinner sig i inledningsstadiet till en omfattande omställning på energiområdet. Den omställningen karaktäriseras av bl.a. totalt sett ökade energibehov i världen och ökad knapphet på dagens mest betydelsefulla energiråvara, olja. Omställningen präglas också av ett ökat hänsynstagande till hälso-, miljö- och säkerhetsrisker samt ekologiska krav. Det råder vidare en betydande osäkerhet om de framtida och långsiktigt bärande ersättningsalternativen.

Sverige är i en särskilt svår situation beroende på vårt mycket starka beroende av importerad olja. Den centrala energipolitiska uppgiften måste vara att beslutsamt minska oljeberoendet genom bl.a. kraftfulla hushållningsinsatser och utnyttjande av tillgängliga energialternativ. Vi måste förbättra vår försörjningstrygghet. Energipolitiken måste vidare utformas så att man uppnår största möjliga flexibilitet och handlingsfrihet. Detta ger möjligheter för successiv ersättning av olja och andra energikällor som ter sig ofördelaktiga från ekonomiska eller miljömässiga utgångspunkter. Dagens energipolitiska beslut får icke utformas så att de låser de långsiktiga utvecklingsmöjligheterna.

En viktig slutsats i kommissionens huvudbetänkande var, att man varken bör avveckla kärnkraften eller binda sig vid kärnkraften som en oundgänglig del av vårt energisystem genom en större ökning av kärnenergiverksamheten. Ett avvecklingsbeslut nu skulle medföra markant ökat oljeberoende, stora samhällsekonomiska uppoffringar och begränsa handlingsfriheten. Kommissionen förordade vidare en intensiv satsning på forskning, teknisk utveckling och demonstration i det dubbla syftet att dels få fram godtagbara och ekonomiskt rimliga alternativ till oljan, främst solenergi i olika former, dels begränsa hälso- och miljöriskerna med all slags energiomvandling.

Det material som läggs fram i det här föreliggande betänkandet måste givetvis bedömas i sammahang med de övergripande analyser och slutsatser kommissionen tidigare redovisat. Olika energislags risker - t.ex. för olyckor med stora konsekvenser - måste avvägas inte bara mot tänkbara energialternativ utan också mot de risker och problem som t.ex. följer med otrygghet i energiförsörjningen.

Den självklara utgångspunkten för en bedömning är såsom tidigare framhållits att ingen del av energisystemet får medföra oacceptabla risker. Men gränsen mellan oacceptabla och acceptabla effekter kan inte anges på något enkelt och entydigt sätt. Bedömningen är naturligtvis i sista hand beroende av sannolikheten för att vissa effekter kan uppstå. Vad som är en rimlig fördelning mellan risk och nytta är också svårbedömt.

Ett samhälle kan inte acceptera ett energiförsörjningssystem som innebär väsentligt förkortad medellivslängd eller ett stort risktagande ens för mindre befolkningsgrupper. Men samhället kan heller icke i längden godta att en mycket otrygg försörjningssituation och stora risker för avbrott i energitillförseln med de effekter detta får på de sociala förhållandena och därmed också för miljö och människors hälsa.

Det material som här har presenterats bekräftar vad som framhölls i huvudbetänkandet, nämligen att bedömningen av olika energislags risker många gånger måste ske på ett förhållandevis bristfälligt kunskapsunderlag. Här finns också skillnader mellan olika energislag.

Det här föreliggande materialet har inte väsentligt kunnat minska osäkerheterna i bedömningarna.

Speciella problem avseende säkerhet och miljö har studerats främst genom arbetena av kommissionens expertgrupp för säkerhet och miljö. Sammanfattningar har gjorts i kapitel 1 till 4.

Huvudbetänkandets slutsatser

På grundval av de efter huvudbetänkandet gjorda utredningarna skall här prövas om i betänkandet redovisade bedömningar och förslag förändrats genom tillgången på ytterligare information.

Prövningen avser kärnkraft, kol och naturgas. Vidare berörs frågan om framtida valfrihet.

Kärnkraft

Den tidigare refererade inställningen att bibehålla kärnkraft som en del i energisystemet grundades på bl.a. förutsättningarna att de negativa effekterna under normaldrift är tolerabla, att riskerna förknippade med mycket osannolika olyckor bedöms ligga inom godtagbara gränser och att tillfredsställande tekniska lösningar för förvaring av högaktivt avfall skall finnas.

Hälso- och miljöeffekter från normaldrift av kärnkraftverk är gynnsammare än för olja- eller koleldade anläggningar. Detta framstod klart i huvudbetänkandet. Urananskaffningen för det svenska programmet är oklar liksom den därav orsakade miljöbelastningen. Utnyttjning av skiffer är en möjlighet. Det skulle innebära miljöproblem koncentrerades till brytningslokalen. Den information i dessa avseende som tillförts kommissionens arbete sedan huvudbetänkandet presenterades har bekräftat de uppfattningar som redovisades i huvudbetänkandet.

Risken för en stor olycka - härdsmältning - och dess effekter har studerats ingående. Metodiken i dessa undersökningar är i princip uppbyggd analogt med kärnkraftssäkerhetssystem, dvs. man söker utröna vad som kan inträffa om extremt ogynnsamma omständigheter samverkar. Det finns skiljaktliga bedömningar av reaktorsäkerheten såväl inom kommissionens expertgrupp som i andra studier.

Bedömningen av sannolikheten för en härdsmältning faller i stort sett inom samma osäkerhetsintervall i

de gjorda utredningarna. Konsekvenststudierna har däremot lett till mer skiljaktliga resultat, främst vad avser markbeläggning.

Sannolikheten för en härdsmälta med de mycket allvarliga konsekvenser som kärnkraftskritiska granskare räknat fram är utomordentligt liten. Det bör också framhållas att säkerhetskraven successivt har skärpts och att teknisk utveckling har skapat förbättrad säkerhet. Sannolikheten för en härdsmälta i den typ av kokarreaktorer som nu byggs torde därför vara mindre än i en tidigare generation.

Kärnkraften ger upphov till ett avfall vars farlighet sträcker sig långt fram i tiden. Dessa, liksom andra avfallsproblem, måste angripas från utgångspunkten att vi inte bör företaga oss något som vi berarar på ett väsentligt sätt kan försämra livsbetingelserna för kommande generationer. Kommissionen har av det arbete som har bedrivits i KBS-projektet och vad som framkommit i övrigt dragit slutsatsen att det högaktiva avfallet kan hanteras och slutförvaras på ett betryggande sätt. Granskningen av KBS-projektet har dock pekat på vissa osäkerheter i bedömningen av element i systemet. Ett fortsatt utvecklingsarbete kan förväntas förbättra metoderna.

Beträffande kärnvärme tyder de gjorda studierna på att riskerna för olyckor är ännu mindre än för kärnkraft.

Den avgörande fråga som således måste besvaras är om de risker som otvivelaktigt är förenade med kärnkraften är godtagbara med hänsyn till de alternativ som står till buds och verksamhetens sociala nytta. Kommissionens svar på denna fråga är ja.

Det finns enligt kommissionens mening inte något i de nu framlagda studierna som ger någon anledning till ändring av de slutsatser och rekommendationer som kommissionen lade fram i sitt huvudbetänkande. Huvudbetänkandets slutsats att bibehålla kärnkraften i systemet men utan onödiga låsningar för framtiden framstår som väl avvägd. Som en viktig förutsättning för denna slutsats gäller, att man också fortsättningsvis utövar en mycket sträng tillämpning av säkerhetsteknik vid drift av reaktorer samt att fortsatt utvecklingsarbete i syfte att ytterligare minska sannolikheten för en härdsmältning bedrivs. Kommissionen anser vidare att alla rimliga åtgärder skall vidtas för att minska de möjliga konsekvenserna av en eventuell olycka.

Naturgas och kol

Utredningarna visar att naturgas, även LNG, sannolikt ger lägre risker för olyckor än konkurrerande energislag. Hälso- och miljöförhållanden vid normaldrift är mycket gynnsamma. Naturgas är således från miljö- och hälsosynpunkt ett fördelaktigt energislag. Detta faktum

måste, som framhållits i huvudbetänkandet, avvägas mot ekonomiska faktorer samt önskemål om ökad försörjningstrygghet.

Utförda studier rörande olyckor i kolgruvor tyder på en dödsfrekvens som är större än den som uppskattats för kärnkraftverk. Därtill kommer att miljö och hälsopåverkan från normaldrift är allvarlig. Kompletterande utredningar sedan huvudbetänkandet lades fram rörande kolförbränning och dess miljöpåverkan har ej gjorts. Utredningar inom avfalls området visar att kol medför en allvarlig miljöbelastning, främst till följd av risker från tungmetaller. Huvudbetänkandets slutsats, att större övergång till kol fordrar miljövänligare teknik än konventionell förbränning, står sig vid den genomförda granskningen.

Framtida valfrihet

Ett effektivare energiutnyttjande genom ett ökat energisparande och en bättre anpassning i fråga om energikvalitet mellan energibehoven och den energi som tillhandahålls kan innebära fördelar från miljösynpunkt. Hänsyn härtill bör tas både i samband med olika energipolitiska beslut och vid genomförandet av energibesparande åtgärder.

Sålunda kan lågvärdig energi i spillvärme från industrier, i avloppsvatten, från solfångare etc., utnyttjas för ändamål där kravet på temperaturnivå är lågt, exempelvis för lokaluppvärmning. Vid särskilda tillämpningar, t.ex. där stora spillvärmeflöden finns tillgängliga eller där värme från vattendrag eller ytjord kan utnyttjas, kan värmepumpen få betydelse i framtiden. En förbättring i utnyttjandet av energikvaliteten kan även uppnås genom ett ökat utnyttjande av kraftverk för kombinerad produktion av el och hetvatten baserad både på bränslen och uran.

Frågorna om en bättre anpassning av den utnyttjade energins kvalitet till behoven bör studeras ytterligare. Den i huvudbetänkandet rekommenderade strategin att hålla alternativval öppna kräver särskilt starka insatser för att klargöra flödesenergins nyttiggörande. Detta har nära anknytning till de berörda kvalitets- och ekologifrågorna. Organisationen inom energisektorn bygger på teknisk tradition. Pågående utbyggnader leder naturligt till en övervikt för tillämpade former av energiråvaror oavsett dess meriter i förhållande till flödesenergi.

Kommissionen anser därför att utöver de forsknings- och utvecklingsinsatser som planeras för flödesenergin också fordras organisatoriska åtgärder för att detta alternativ framledes skall kunna värderas på ett i förhållande till nuvarande energisystem väl avvägt sätt. I annat fall finns risk att den av kommissionen förordade valfriheten inte blir reell i detta avseende.

Kompletterande synpunkter angående strålning i bostäder

Vid energisparande bör hänsyn tas till risker för negativa hälso- och miljöeffekter. Framför allt innebär en minskad ventilation genom tätningsåtgärder i hus byggda av skifferbaserad lättbetong ökade strålrisker på grund av radioaktiv radongas.

Effektiva motåtgärder bör vidtagas, främst av byggnadsteknisk natur, för att undvika att oacceptabla hälsorisker uppstår. Dessa frågor bör klarläggas i en särskild utredning. I samband med energisparprogrammet bör hus med särskilt radioaktivt byggnadsmaterial kartläggas samtidigt som lämpliga åtgärder och rekommendationer utarbetas.

Förslag

Kommissionen föreslår att Sverige i vederbörliga internationella organisationer verkar för normer och överenskommelser för hantering och kontroll av kärnkraftens fredliga utnyttjande.

För att förbättra säkerheten mot olyckshändelser inom energiförsörjningen föreslår kommissionen bl.a. att

organisationer och resurser när det gäller beredskap mot stora olyckshändelser av alla slag ses över,

forskningen på riskområdet ges ökade resurser,

Sverige i internationell samverkan verkar för skärpta bestämmelser beträffande utvinning och transport av olja till havs samt konstruktion av säkrare tankfartyg,

beredskapen mot stora oljeutsläpp, framför allt i Östersjön, förbättras och effektivare metoder för att samla in och ta upp löskommen olja utvecklas,

bestämmelser beträffande lagring och hantering av blytillsatser för motorbensin ses över,

riskerna med hantering och lagring av LNG studeras ingående före ett eventuellt beslut om import,

olika tänkbara förlopp som kan leda till en härdsmältning i en kärnreaktor studeras ytterligare och olika åtgärder som kan minska sannolikheten och verkningarna av reaktorolyckor utvecklas för både nya och befintliga reaktorer,

beredskapen vid reaktorolyckor ses över varvid evakuering av befolkningen och åtgärder vid radioaktiv markbelättning studeras särskilt.

Vad gäller det högaktiva avfallet föreslås att

organisationen beträffande avfallshantering och avfallsförvaring ses över,

det arbete som KBS utfört och utför fullföljs dels med insatser av utvecklingskaraktär, dels med insatser för att successivt öka detaljeringsgraden för nödvändiga anläggningar,

Sverige verkar för att internationellt accepterade normer för säkerhet och kvalitet för slutförvar utfärdas och att kontrollen av nukleärt material skärps och regleras i internationella avtal.

Beträffande avfall från kol och olja föreslås att

system utarbetas för insamling av sot och aska från olje- och kolförbränning vid små anläggningar,

studier genomförs av långsiktiga effekter från askupplag.

Beträffande utsläpp av föroreningar från bränslen föreslås bl.a.

bilavgasutsläpp från fordonsdrift på metanol, blandningar av metanol och bensin samt s.k. wide-cut-bränslen studeras,

åtgärder vidtas för att stimulera teknik för avskiljning av knicksilver ur rökgaser från skifferförbränning, kolförgasning och koleldning,

kväveoxidernas bidrag till försurningen av mark och vatten fastställs,

sambandet mellan försurning och effekter av tungmetaller i mark och vatten studeras,

Sverige verkar för ytterligare internationella forskningsinsatser beträffande effekter av en ökad koldioxidhalt i atmosfären.

För att skapa framtida valfrihet föreslås att lämplig organisation ges ansvaret för att flödesenergi och därmed sammanhängande energisystem studeras och utvecklas så att detta på ett rättvisande sätt kan beaktas vid fortsatta beslut om långsiktig inriktning av energipolitiken.

Beträffande strålning i bostäder föreslås att

olika byggnadsmaterials betydelse för radonhalten undersöks och att lättbetonghus med särskilt hög aktivitet lokaliseras,

forskningsinsatserna beträffande hälsorisker av strålning i bostäder förstärks.

Reservationer

Ledamöterna Curry-Lindahl, Hambraeus, Kjellström, Kågeson och Sjönell

Reservanterna hänvisar till expertgruppen för säkerhet och miljö som visat att osäkerhet ännu rådet beträffande risker för hälsa och miljö - inte minst när det gäller kärnkraften. Osäkerheten måste tillmätas stor betydelse eftersom det är fråga om risker med omfattande konsekvenser av delvis oåterkallelig natur. Reservanterna anser att kommissionens majoritet i flera avseenden inte har beaktat det föreliggande faktamaterialet.

Följande fakta borde majoriteten tagit större hänsyn till:

Uranförsörjningen:

- En svensk uranbrytning leder till risk för stora miljöproblem.

Härdsmältningsolyckor:

- Osäkerheten i de tekniska riskuppskattningarna är hög på grund av svårigheterna att beakta t.ex. åldringsfenomen, sabotagerisker och mänskligt felhandlande.
- De teoretiska riskuppskattningarna innebär trots detta en betydande sannolikhet för att en härdsmältning skall inträffa i Sverige under den normala driftstid som planerats.
- En härdsmältning leder med stor sannolikhet till att stora landområden blir belagda med radioaktivitet och måste utrymmas. Den kan också leda till ett stort antal cancerfall, fosterskador och genetiska skador samt under ogynnsamma förhållanden till akuta dödsfall.

Avfall från kärnkraftutnyttjande:

- Ett tungt vägande argument mot kolutnyttjande är enligt kommissionens majoritet de långsiktiga riskerna med deponering av tungmetaller. Det är viktigt att beakta att samma problem också gäller uranutvinning från skiffer.
- Projektet "Kärnbränslesäkerhet" (KBS) bygger på upparbetning av det utbrända bränslet men upparbetning kan av flera skäl ifrågasättas.
- KBS-projektet har inte behandlat avfallshanteringen av plutonium.
- Omfattande kritik har riktats mot KBS-projektet.
- Det är uppenbart att KBS-projektet inte har kunnat visa att det går att finna någon plats som uppfyller de krav som projektets egna beräkningar bygger på.

- Det kan därför inte anses styrkt att de förslag till hantering och förvaring av det långlivade höggradigt radioaktiva avfallet från kärnkraftverk som nu föreligger är genomförbart med höga krav på säkerhet för kommande generationer.

Kärnvapen:

- Den nuvarande tekniken för upparbetning av använt kärnbränsle för civila ändamål måste anses ge goda förutsättningar för produktion av plutonium för vapenframställning. Det ifrågasätts också från många håll om den nuvarande övervakningen ger tillräckliga garantier mot avledning av klyvbart material för vapenframställning.

Slutsatser och förslag

Med hänsyn till dessa fakta anser reservanterna att ingen utbyggnad av kärnkraften utöver 10 aggregat får ske. Ett stopp för fortsatt utbyggnad av kärnkraft ökar förutsättningarna för en övergång till ett energisystem baserat på förnyelsebara energikällor.

En rad åtgärder är nödvändiga för att möjliggöra en snabb avveckling av kärnkraften utan elransonering eller driftinskränkningar inom industrin.

På grund av riskerna i samband med haverier föreslår reservanterna att evakueringsplaner skall upprättas och att de statliga myndigheternas kontrollfunktioner förstärks tills dess samtliga kärnkraftverk tagits ur drift.

Dessutom har reservation lämnats av ledamoten Curry-Lindahl.

Särskilda yttranden har lämnats av ledamöterna Hambraeus och Sjönell, Kjellström, Kågeson samt Landell.

SUMMARY

The Energy Commission, in its main report called "Energy" (SOU 1978:17) presented its considerations and put forward its proposals with the proviso that nothing will emerge from the subsequent investigations which materially alters the prerequisites for what has been said in the main report. The reference therein to those additional investigative results concerning, among other things, health hazards, risks of major accidents and sabotage, and problems of waste management, are reported on here. This presentation takes the form of a comparison of such risks in relation to different types of energy.

Risks of major accidents

Risks of accidents with major consequences in the form of diseases and deaths or pervasive environmental damage are chiefly present in connection with mining coal below ground, the extraction, handling, refinement and storage of oil and gas, at nuclear power stations and at hydroelectric dams.

The Energy Commission observes by way of summary that the probabilities for major accidents are of the same magnitude irrespective of whether the risks are associated with coal mining, oil handling, nuclear power stations or hydropower dams.

The consequences of an accident are very much dependent on the circumstances governing at the time of accident. The most likely consequences of an accident at a hydropower dam or a nuclear power station are of the same magnitude. But at a nuclear power station it is possible to imagine combinations of unfortunate circumstances which could lead to massive consequences in the form of casualities and radioactive ground deposits. It should be noted, however, that this is a result of hypothetical assumptions. In oil handling the risks of very pervasive environmental damage are greatest in connection with extraction and the transport of oil on the high seas. Certain risks for the general public are to be found mainly when light oil products are transported in urban settlements. The long-term adverse effects of large oil spills, above all in inland seas such as the Baltic, must be considered very serious. The greatest risks which attach to importing natural gas into Sweden are bound up

with the transport and storage of LNG. Here the risk of major accidents seems to be less than the other risks mentioned above. None the less, the relatively large likely consequences motivate paying great attention to these matters should LNG be imported into Sweden.

Waste problems

Wastes which must be stored in underground repositories arise from the combustion of different fuels such as coal, oil and biomass, in shale mining and in the operation of nuclear power stations.

The Commission notes that it has not seen it as its task to take a detailed stand as to which solution to the waste problems should be recommended. One reason for so doing is that no decision need be taken today on the detailed design of waste management. Nor has the Commission seen it as its task to take a stand as to whether the requirements of the Stipulations Act are met through the so-called KBS project. That task rests upon the Government. What the Commission has tried instead is to assess whether the various technical solutions that have been put forward offer opportunities for solving this problem in an adequate manner.

The Commission's stand

The Commission's investigations have shown that all energy types which in a shorter time perspective can render more significant contributions to our energy supply are associated with risks to health and environment. This observation also holds for energy conversion, which may turn out to be of greater importance in the future, mainly different forms of solar energy, even if such energy conversion now seems to offer cardinal environmental advantages. The environmental and health risks which are associated with different energy conversion processes must not only be weighed against one another but also be assessed with reference to the social benefit of these processes.

The Commission has struck such a weigh-up or "trade-off" in the main report. It is based on an extremely comprehensive background material, not least as regards the environmental and risk issues. The different imaginable action alternatives are also assessed with reference to their shifting effects on the national economy and hence on the country's economic and social development.

The Commission observed that Sweden, in common with other countries, finds itself in the initial stage of a pervasive readjustment in the energy sphere. That readjustment is characterized in particular by the globally seen increased needs for energy and by the growing scarcity of today's most important energy raw material, oil. It is also characterized by a growing deference to health hazards, environmental and safety risks, and ecological demands. Further, a high degree

of uncertainty prevails concerning the future and secularly viable replacement alternatives.

Sweden is in a particularly difficult situation due to our very strong dependence on imported oil. The central task for energy policy must be to cut thet dependence resolutely on the strength of vigorous conservation efforts, utilization of available energy alternatives, etc. We must improve our supply security. Further, energy policy must be shaped to achieve maximum flexibility and freedom of action. This will open up opportunities for gradually replacing oil and other energy sources which look unfavourable on economic or environmental grounds. Today's policy decisions must not be designed so that they rigidly constrain the long-term growth potentials.

An important conclusion in the Commissions's main report was that we should neither decommission nuclear power nor bind ourselves to nuclear power as an indispensable part of our energy system due to a major increase in nuclear energy activity. If a decommissioning decision were to be taken now, it would sharply increase our dependence on oil, cause great macroeconomic sacrifices and limit our freedom of action. The Commission also recommended making an intensive commitment to research, technological advance and demonstration with a twofold aim: first, to bring out acceptable and economically plausible alternatives to oil, mainly solar energy; and second, to limit the health hazards and environmental risks attached to all kinds of energy conversion.

The material put forward in the present report must of course be assessed in conjunction with the overarching analyses and conclusions that the Commission reported earlier. Various energy-type risks -- e.g. of accidents with wast consequences -- must be weighed not only against conceivable energy alternatives but also against those risks and problems which e.g. accompany insecurity in the energy supply.

As pointed out earlier, the axiomatic starting point for an assessment is that no part of the energy system entails unacceptable risks. But the boundary line between unacceptable and acceptable effects cannot be specified in any simple and clear-cut way. In the final analysis, obviously, the assessment will depend on the probability that certain effects may arise. Another difficulty is posed by attempts to strike a fair trade-off between risk and benefit.

A society cannot accept an energy supply system which denotes essentially shortened longevities or even great risk assumptions for smaller population groups. But neither can society agree in the long run to endorse a very insecure supply situation and great risks of interruption in the energy supply, with all the effects this is bound to have on social conditions and hence for environment and human health as well.

The material presented here confirms what was pointed out in the main report, namely that the assessment of different energy types for their risks will often have to proceed from a comparatively defective knowledge base. Here again there are differences from one energy type to another.

The material here in hand has not been able to reduce the uncertainties in the assessments to any substantial extent.

The special problems pertaining to safety and environment have been mainly studied by the Commission's ad hoc group of experts in these two fields. Summaries have been made in chapters 1 to 4.

The main report's conclusions

On the basis of the investigations made for the main report, an examination will be undertaken here to find out whether the assessments and proposals documented in that report have been changed by the access to additional information.

The examination refers to nuclear power, coal and natural gas. Also touched upon is the question of future options.

Nuclear power

The previously accounted-for point of view, which calls for retaining nuclear power as an integral part of the energy system, was notably based on the following: the negative effects under normal operating conditions must be tolerable, the risks associated with highly improbable accidents are deemed to lie within acceptable limits, and satisfactory technical solutions for storage of high-level waste must be available.

The health and environmental effects from normal operation of nuclear power stations are more favourable than for plants fired with oil or coal. This finding stood out clearly in the main report. The procurement of uranium for the Swedish programme is unclear, as is the environmental load caused thereby. Exploitation of shales is one possibility. This means that environmental problems would be concentrated at the mining site. The information in these respects that has been added to the Commission's work since the main report was presented has confirmed the opinions which that report documented.

The risk of a major accident -- core meltdown -- and its effects have been penetratingly studied. In principle, the methodology used in these investigations is built up by analogy with nuclear power safety systems, i.e. attempts are made to find out what might occur if extremely unfavourable circumstances interact. There are divergent assessments of reactor safety both within the Commission's expert group and in other studies.

By and large the assessment of the probability for a core meltdown falls inside true uncertainty intervals in the investigations made. In contrast the consequence studies have led to more divergent results, especially as regards ground deposits.

There is extremely small probability for a core meltdown which entails grave consequences of the kind that the critics of nuclear power have figured out. It should also be emphasized that safety standards have been gradually tightened and that technological advance has created improved safety. The probability for a core meltdown in that type of boiling water reactors now being built should therefore be less compared with an earlier generation of such reactors.

Nuclear power gives rise to a waste whose dangerousness stretches far ahead in time. The starting point for tackling this and other waste problems must be that we should not undertake any activity which we fear might materially impair the life supporting conditions for coming generations. Based on the work that has been pursued in the KBS project and the other findings that have emerged, the Commission has drawn the conclusion that the high-level waste can be handled and finally stored in an adequate manner. Even so, the audit of the KBS project has identified certain imponderables in the assessment of elements in the system. A sustained future development effort may be expected to improve the methods.

Concerning nuclear heating the studies made suggest that the risks of accidents are even less than for nuclear power.

Thus the crucial question which must be answered is whether the risks which are undoubtedly associated with nuclear power are acceptable, having regard to the alternatives which are available and to the activity's social benefit. The Commission's answer to this question is yes.

In the Commission's opinion there is nothing in the studies now put forward to warrant changing any of the conclusions and recommendations which the Commission presented in its main report. The main report's conclusion to retain nuclear power in the system, but without unnecessary constraints for the future, stands out as well-balanced. An important prerequisite for this conclusion is to keep on exercising a very strict application of safety technology to reactor operation and to make sure of continued development work which seeks to cut down even more on the probability for a core meltdown. Further, the Commission submits that all reasonable measures shall be taken to reduce the possible consequences of an accident, if any.

Natural gas and coal

The investigations show that natural gas, including LNG, will probably lower the risks of accidents compared with

competing energy types. Where operation is normal, the health and environmental factors are highly favourable. Thus from the health and environment aspect natural gas is a beneficial energy type. As the main report pointed out, this fact must be weighed against economic factors as well as stated wishes for greater supply security.

The studies made of accidents in coal mines indicate a death rate that exceeds the one estimated for nuclear power stations. On top of that is the serious impact on environment and health coming from normal operations. No post-report investigations have been made concerning coal combustion and its environmental impact. Studies in the solid wastes area show that coal imposes a serious environmental load, mainly due to the risks posed by heavy metals. The main report's conclusion under this head, which says that a major changeover to coal requires a more pro-environment technique than conventional combustion, stands firm after the completed examination.

Future options

A more efficient energy utilization based on saving more energy and on better adjustment of energy quality between the energy requirements and the energy that is provided may confer environmental benefits. This aspect should be borne in mind both in connection with different energy-policy decisions and in the implementation of energy-saving measures.

Thus the low-grade energy contained in waste heat from factories, in sewage effluent, from solar collectors, etc., can be tapped for purposes which specify no more than a low temperature level, as for space heating. With regard to special applications, e.g. where large waste heat flows are available or where heat from waterways or topsoil can be tapped, the heat pump may take on importance in the future. Energy quality could also be utilized better by tapping utilities to a greater extent for co-generation, i.e. combined production of electricity and hot water based both on fuels and uranium.

The issues involved in achieving better adjustment of the tapped energy's quality to the needs should be studied in greater depth. The strategy to keep alternative choices open, which is recommended in the main report, requires particularly vigorous efforts to clarify the utilization of flow energy. This ties in closely to the aforementioned quality and ecology issues. The organization of the energy sector builds upon technical tradition. Ongoing expansion programmes naturally lead to an overweight for applied forms of energy raw material irrespective of their merits in relation to flow energy.

The Commission therefore submits that, over and above the R & D efforts that are being planned for flow energy, organizational measures be taken to permit making a well-balanced appraisal of this alternative from now on in relation to present-day energy systems. Failing this, there is risk that the options recommended by the Commission will not have real substance in that respect.

Supplementary viewpoints on radiation in dwellings

For energy conservation purposes allowance should be made for the risks of negative health and environmental effects. The reduced ventilation which ensues from installation of weather stripping in houses built of shale-based light concrete is particularly calculated to intensify the radiation risks due to radioactive radon gas.

Effective countermeasures should be taken, mainly of a structural engineering nature, to prevent the onset of unacceptable health hazards. These matters should be clarified in a separate investigation. As part and parcel of the energy conservation programme, an inventory should be taken of houses built with especially radioactive construction materials, with appropriate measures and recommendations to be drafted at the same time.

Proposals

The Commission proposes that Sweden, acting through the international organizations concerned, foster the adoption of standards and agreements for management and control of the peaceful uses of nuclear power.

In order to improve safety against accidents in energy supply, the Commission proposes, inter alia,

that organizational structures and resources concerned with contingency planning against all kinds of major accidents be overhauled;

that research in the risk area be given increased resources;

that Sweden, acting in international partnership, work for the adoption of more stringent regulations to govern the extraction and transport of oil at sea and the construction of safer tankers;

that contingency planning against major oil spills, above all in the Baltic Sea, be improved and that more effective methods be developed to gather in and take up escaped oil;

that regulations on the storage and handling of lead additives to petrol be overhauled;

that the risks of handling and storing LNG be studied

exhaustively before any decision is taken to import it;

that various imaginable sequences which may lead to a core meltdown in an nuclear reactor be studied further, and that various measures which may reduce the probability and effects of reactor accidents be developed for both new and existing reactors;

that the contingency planning against reactor accidents be overhauled, with special study to be devoted to evacuation of the population and to measures against radioactive ground deposits;

With regard to high-level waste, the Commission proposes an overhaul of the organizational structure for waste disposal and storage.

The work that KBS has done and is doing is to be followe through, partly with inputs of development character, partly with inputs to increase in stages the degree of detailed specification for necessary plants.

Sweden is to work for the promulgation of internationally accepted safety and quality standards for final storage and to help ensure that the control of nuclear material is tightened and regulated in international agreements.

Concerning waste from coal and oil, the Commission proposes that systems be devised to collect soot and ash resulting from the combustion of oil and coal at small plants;

that studies be made of the long-term effects from ash depots.

Concerning discharges of pollutants from fuels, the Commission proposes, inter alia,

that exhausts emitted by motor vehicles operating on methanol, mixtures of methanol and petrol (gasoline), and so-called wide-cut fuels be studied;

that measures be taken to stimulate technology for separating mercury out of flue gases from shale combustion, coal gasification and coal firing;

that the contribution of nitrogen oxides to acidification of land and water be determined;

that the connection between acidification and effects of heavy metals in land and water be studied;

that Sweden work to promote more intensified research into the effects of increased carbon dioxide content in the atmosphere.

In order to create future options, it is proposed that a suitable organization be given the responsibility to study and develop flow energy and related energy systems, so that this may be accorded fair treatment in future decisions to impart a long-term thrust to energy policy.

Concerning radiation in dwellings, the Commission proposes

that the significance of building materials for their radon content be investigated and that steps be taken to pinpoint light concrete houses with especially high radioactivity;

that upgraded research be done into the health hazards of radiation in dwellings.

Dissents

Commission members Curry-Lindahl, Hambraeus, Kjellström, Kågeson and Sjönell

The dissentients make reference to the Expert Group for Safety and Environment, which has shown that uncertainty still prevails in regard to health hazards and environmental risks -- not least where nuclear power is concerned. Great importance must be attached to the uncertainty aspect since it involves risks with pervasive consequences of partly irreversible nature. According to the dissentients, a majority of the Commission has not paid heed to the factual material in hand.

The majority should have made greater allowance for the following facts:

Uranium supply:

- Uranium mining in Sweden will lead to risks of great environmental problems.

Core meltdown accidents:

- The uncertainty in the technical risk estimates is high due to the difficulties of considering such factors as aging phenomena, sabotage risks and human error.

- Despite the foregoing, the theoretical risk estimates imply a substantial probability that a core meltdown will occur in Sweden during the normal operating time that has been planned.

- There is great probability that a core meltdown will cover large land areas with radioactivity, making it necessary to evacuate them. It may also lead to a great many cancer cases, foetal injuries and genetic injuries, and under unfavourable circumstances to acute deaths.

Waste from nuclear power utilization:

- According to a majority of the Commission, a very weighty argument against coal utilization is the long-term risks posed by storage of heavy metals in underground repositories. It is important to bear in mind that this same problem also holds for the extraction of uranium from shales.

- The project called "Nuclear Fuel Safety" (KBS) is based on reprocessing the spent fuel, but doubt may be cast on reprocessing for several reasons.

- Extensive criticism has been levelled at the KBS project.

- It is obvious that the KBS project is not in a position to satisfy the requirements on which the project's own calculations are based.

- It can therefore not be considered verified that the proposals now in hand for handling and storing the long-lived, high-level radioactive waste from nuclear power plants are practicable consistent with high standards of safety for coming generations.

Nuclear weapons:

- The present technology for reprocessing of spent nuclear fuel for civilian purposes must be considered highly conducive to the production of plutonium for weapons manufacture. Moreover, many quarters have questioned whether the present monitoring system provides sufficient guarantees against the diversion of fissionable material for weapons manufacture.

Conclusions and proposals

Having regard to these facts the dissentients submit that no expansion of nuclear power over and above 10 reactors should be allowed. A halt to continued expansion of nuclear power improves the prospects for changing over to an energy system based on renewable energy sources.

A number of measures are necessary to permit a rapid decomissioning of nuclear power without electricity rationing or production cutbacks in manufacturing industry.

Owing to the risks in connection with breakdowns, the dissentients propose that evacuation plans be set up and that the government agencies strengthen their control functions until such time as all nuclear power stations have been removed from service.

1 BETÄNKANDETS SYFTE

Energikommissionen har i sitt huvudbetänkande (SOU 1978:17) Energi redovisat sina överväganden och lagt fram sina förslag under förutsättningen att det i det fortsatta utredningsarbetet inte framkommer något som väsentligen ändrar förutsättningarna för vad som sägs i huvudbetänkandet. Vad som därvid avsågs vara de ytterligare utredningsresultat beträffande bl. a. hälsorisker, risker för stora olyckor och sabotage samt med avfallshantering redovisas här. Redovisningen är upplagd som en jämförelse av sådana risker vid olika energislag.

Av detta betänkandes karaktär av kompletterande redovisningar följer att den presentation som ges i kapitel 2-4 inte är heltäckande eller ger en fullständig rättvisande jämförelse mellan olika energislag. Kommissionens slutsatser i kapitel 5 grundar sig på bedömningar av både detta och tidigare redovisat material. Här redovisas problemområden som enligt kommissionens uppfattning behöver utredas ytterligare.

I huvudbetänkandets avsnitt 6.5 finns redovisat synpunkter på värdering av bieffekter och risker med energiförsörjningen. I avsnitt 6.6 följer sedan en genomgång av miljö- och säkerhetsproblem med olika energislag. Vidare finns i kapitel 8, framför allt i avsnitt 8.6.5, en utvärdering av olika hälso-, miljö- och säkerhetsproblem med de energialternativ kommissionen valt att studera. Denna utvärdering omfattar hälsorisker vid normal drift, yrkesrisker, risker för stora olyckor eller sabotage, mark- och vattenförgiftning, avfallsproblem, kärnvapenspridning, klimatpåverkan, försurning av mark och vatten, kylvattenutsläpp samt landskapspåverkan. För en översikt över hälso-, miljö- och säkerhetsproblem med olika energislag hänvisas, förutom till ovan nämnda avsnitt i kommissionens huvudbetänkande, även till slutrapporten från kommissionens expertgrupp för säkerhet och miljö, Ds I 1978:27. Olika hälso-, miljö- och säkerhetsproblem finns också behandlade i expertrapporter från energikommissionen, vilka förtecknats i bilaga 1.

FAKTARUTA

Multipelenheter, tiopotenser

Olika enheter kombineras ofta med prefix som anger att enheten multipliceras med en faktor tio, dvs. en tiopotens.

Prefix		Talfaktor	
Benämning	Beteckning		
piko	p	10^{-12}	en miljondels miljondel
nano	n	10^{-9}	en miljarddel
mikro	µ	10^{-6}	en miljondel
milli	m	10^{-3}	en tusendel
kilo	k	10^{3}	tusen
mega	M	10^{6}	miljon
giga	G	10^{9}	miljard
tera	T	10^{12}	tusen miljarder
peta	P	10^{15}	miljon miljarder

Exempel:

1 pC = 0.000 000 000 001 Curie = 10^{-12} Curie

1 m rem = 0.001 rem = 10^{-3} rem

Sannolikheten 10^{-3} = sannolikheten 0.001 = en gång på tusen

Sannolikheten 5.10^{-6} = sannolikheten 0.000 005 = 5 gånger på en miljon

2 HÄLSOEFFEKTER

2.1 Allmänt

Energikommissionen har i sitt betänkande Energi (SOU 1978:17 avsnitt 4.3.2, 6.6 och 8.6.5) behandlat hälsoeffekter i samband med energiförsörjningssystemet. Expertgruppen för säkerhet och miljö har därefter ytterligare bearbetat material beträffande bl.a. hälsoeffekter. Det har inte framkommit något som ger anledning att ändra den tidigare redovisningen. Beträffande radon i bostäder ges dock en mer omfattande redovisning i detta slutbetänkande.

Kommissionen vill också peka på att osäkerhet råder beträffande uppskattningar av olika ämnens bidrag till de totala cancerriskerna. Detsamma gäller också beträffande de samverkansfaktorer (synergism) som innebär att vissa ämnen kan påverka ett cancerogent ämnes genomslagskraft samt att icke-cancerogena ämnen kan reagera med andra ämnen och därmed erhålla cancerogena egenskaper. Det finns även fler ämnesgrupper än vad som tidigare beaktats som innehåller cancerogena ämnen. Fördelningen mellan olika cancerframkallande ämnen i rökgaser varierar dessutom med anläggningarnas typ. Problemets komplexitet och därmed osäkerheten i resultaten synes sålunda vara större än vad som tidigare antagits. Detta påverkar emellertid endast fördelningen mellan vilka ämnen som enskilda eller i samverkan ger upphov till cancer. Beräkningen av de totala hälsoeffekterna påverkas inte av dessa osäkerheter.

2.2 Radon

I naturen förekommer varierande halter av radioaktiva ämnen. De ämnen som har störst betydelse för strålningen i bostäder är radium och dess sönderfallsprodukter (radon^{222} och radonets sönderfallsprodukter, främst polonium^{218}, polonium^{214}, bly^{214} och vismut^{214}).

Stråldoser från radioaktiva ämnen kan åstadkommas genom extern bestrålning från strålkällor utanför kroppen eller genom intern bestrålning från radioaktiva ämnen som kommit in i kroppen med vatten, föda eller andningsluft.

Den externa bestrålningen, som kan uppkomma i samband med hantering av radioaktivt material, förorsakas huvudsakligen av gammastrålning och i sällsynta fall av neutroner. Då strålkällan befinner sig utanför kroppen har alfa- och betastrålning alltför liten genomträngningsförmåga i luft, skärmmaterial och kroppsvävnad för att innebära någon väsentlig risk. Stråldoserna från intern bestrålning är betydligt lägre än från extern strålning. Intern bestrålning är trots detta betydelsefull på grund av att de radioaktiva ämnena avger sin strålenergi koncentrerat i den vävnad där ämnet befinner sig.

De hälsorisker som kan föreligga på grund av radioaktiva ämnen i bostäder är av två slag. Det gäller dels risker i samband med gammastrålning, dels bildning av radongas med alfastrålning som kan ge upphov till lungcancer.

Gammastrålning i bostäder

Gammastrålning i bostäder härrör från radium, torium och kalium. Gammastrålningen är svår att förhindra bortsett från möjligheten att undvika material som ger sådan strålning. Ventilationsåtgärder, ytbehandling m.m. hjälper inte mot denna strålning.

Den totala gammastrålningen från trä, kalksten, gipsplattor och mineralull är låg. Byggnader som enbart innehåller dessa material får därmed en låg gammastrålning. Tegel, betong och sandbaserad skiffer ger i allmänhet högre strålning. Det finns dock sandbaserad lättbetong med mycket låg aktivitet. Skifferbaserad lättbetong avger däremot kraftig strålning. Även inom denna grupp är emellertid variationerna betydande. Den totala gammastrålningen från byggnadsmaterialet i en lägenhet begränsas ofta av att hela husets stomme inte är av skifferbaserad lättbetong. Det finns emellertid ett litet antal lägenheter - ca 3 000 st - som har hela stommen av skifferbaserad lättbetong med hög aktivitet. Av dem som vistats i dessa hus i större delen av sitt liv kan ca 1 av 250 riskera få cancer på grund av byggnadsmaterialets gammastrålning.[1)]

De totalt beräknade riskerna för gammastrålning i landets samtliga bostäder ligger betydligt lägre än de maximalt beräknade riskerna för alfastrålningen från radon. Säkerheten i uppskattningarna beträffande riskerna i samband med gammastrålning är dock på grund av det enklare orsakssammanhanget betydligt större än säkerheten i riskuppskattningarna i samband med alfastrålning och radon.

1) Ds I 1978:27

Koncentration av radon i byggnader

Radon och dess dotterprodukter kan ge upphov till lungcancer vid inandningen genom alfastrålning. Torium och kalium som bidrar till gammastrålningen har ingen gasformig dotterprodukt som tränger ut från byggnadsmaterialet och bidrar därför inte till riskerna för alfastrålning.

Bildningen av radon står i direkt proportion till radiummängden i byggnadsmaterialet. Hur hög halt av radongas som kommer till inomhusluften från ett byggnadsmaterial med en viss mängd radium beror bl.a. på följande faktorer:

- Byggnadsmaterialets eget inre motstånd mot ett utsläpp av radon till inomhusluften. Detta har inte närmare studerats för olika byggnadsmaterial. De mätningar av radonhalten som utförts kan dock tolkas som att lättbetong har ett relativt högt diffussionsmotstånd (låg genomsläpplighet).

- Byggnadsmaterialets behandling reducerar möjligheterna att radon tränger ut till inomhusluften. Det finns emellertid endast bristfälliga undersökningar som visar hur olika ytbehandlingar påverkar radonhalten i inomhusluften.

- Radonavgivande ytor. Små utrymmen får högre koncentrationer av radon än större utrymmen.

Insatser krävs därför för att utröna vilken betydelse ovanstående faktorer kan ha för radonhalten i bostäderna.

Det allvarligaste problemet vid bestämningen av hälsorisker i samband med radon är emellertid att även om koncentrationen av radon är känd är det svårt att uppskatta de risker som en person utsätts för vid inandningen. För att beräkna detta behövs ytterligare kunskap bl.a. när det gäller följande:

- Hur stor är halten av radondöttrar polonium, vismut, bly).

- I vilken form föreligger radondöttrarna; som fria joner eller vidhäftade på partiklar.

- Hur stora är dessa partiklar och var avsätts dessa i luftvägarna samt hur länge stannar de kvar i luftvägarna.

- Hur mycket av alfastrålningen når de känsliga punkterna, dvs. basalcellerna i bronkerna, och hur mycket dämpas av slemskiktet.

Dessa faktorer är mycket dåligt kända och kan dessutom variera kraftigt dels mellan olika lokaler, dels med

tiden i samma lokal. T.ex. kan mängden elektriskt laddade radondöttrar som fastnar på väggarna påverkas av luftens jonstatus, vilket i sin tur påverkas av t.ex. öppen eld och luftens fuktighet.

Man har ännu inte utvecklat någon praktiskt användbar metod för mätning av den radioaktiva dos som de kritiska basala cellerna i bronkerna tar emot på grund av radonets och dess döttrars sönderfall. De redovisade sambanden mellan koncentration av radon och radondöttrar och erhållen dos bygger i stället på modellberäkningar och är behäftade med stor osäkerhet. Alla modeller kräver att dosfaktorn (graden av radioaktiv jämvikt mellan radon och dess döttrar), andelen radondöttrar i form av fria joner samt partiklarnas storleksfördelning är kända eller uppskattas. De antaganden man härigenom blir tvungen att göra bidrar starkt till osäkerheten i resultatet. Den variation som förekommer hos dessa faktorer påverkar förhållandet mellan radonkoncentration och dos med en faktor över 10. Det innebär att avvikelsen mellan högsta och lägsta värde förhåller sig som 1 till 10. Till detta skall läggas modellens egen osäkerhet.

Ett flertal uppskattningar av samband mellan radon i luft och absorberad dos har publicerats. Beroende på beräkningsmodell och gjorda antaganden avviker högsta och lägsta värde med en faktor på ca 50.

En annan väg att bedöma risken för lungcancer av radon i bostäder är genom epidemiologiska studier. Ett flertal sådana undersökningar finns utförda. De gäller emellertid huvudsakligen cancerfrekvens hos gruvarbetare varför paralleller till bostäder är vanskliga att göra, bl.a. på grund av skillnaden i partikelstorlek och skillnaden i andra emissioners bidrag till lungcancer.

Det krävs forskning för att närmare kunna fastställa hälsoriskerna i samband med radon i bostäder. Trots att det som redan påpekats inte föreligger något enkelt samband mellan radonhalt och lungcancer finns det anledning att se närmare på de variationer i radonhalt som förekommer.

Förutom val av byggnadsmaterial kan också ventilationen i byggnaden, radiumförekomsten i marken under byggnaderna och i dricksvattnet spela en roll. I Sverige finns endast en mindre undersökning av radonhalten i byggnader. Undersökningen är utförd i sju olika husgrupper men eftersom husen har blandat byggnadsmaterial går det inte enkelt att härleda varje specifikt byggnadsmaterials bidrag till radonhalten eller bidraget från marken och dricksvattnet. När det gäller ventilationen är det enklare att göra schematiska beräkningar av påverkan på radonhalten i inomhusluften.

En förändring av luftomsättningen från dagens gängse på ca 0,7-0,8 luftomsättningar per timme till 0,5 luftomsättningar per timme (dagens byggnorm) ger ungefär en 50% ökning av radonhalten. Ventilationen kan behöva förändras i vissa byggnader men skillnaderna på grund av ventilationsförändringar är alltså mindre betydelsefulla i jämförelse med bl.a. byggnadsmaterialets beskaffenhet.

De energibesparingar som har diskuterats i energikommissionen gäller att genom tätning åstadkomma en minskning av luftomsättningen från ca 0,7 till 0,5 per timme i ungefär halva bostadsbeståndet. Detta skulle därmed ge en för landets totala bostadsbestånd ca 20% högre radonhalt i luften - förutsatt att inga andra åtgärder vidtas. Vid denna beräkning har inte hänsyn tagits till att byggnadsbeståndet där ventilationsåtgärder är mest aktuella, dvs. hus byggda före år 1950 till stor del är byggnader med lägre radonavgivelse än byggnader byggda under 1950-, 1960- och 1970-talen.

Energisparåtgärder kan genom minskad ventilation kombineras med exempelvis radontäta diffussionsspärrar eller luftrening. Radonhalterna kan därmed minskas även jämfört med förhållandena före energibesparingsinsatserna. Det finns emellertid i dag inte tillräcklig kunskap om vilka åtgärder som är lämpligast för att på enklaste och billigaste sätt reducera radonhalterna.

Med utgångspunkt från strålskyddsinstitutets dosberäkningar skulle antalet lungcancerfall orsakade av radongas vara mellan maximalt 90 och 450 av f.n. totalt 2 000 lungcancerfall. På grund av de ökade radiumhalterna i byggnadsmaterialet under 1950-, 1960- och 1970-talen beräknas de av radon orsakade lungcancerfallen ungefär fördubblas fram till år 2000. Den övervägande risken med radon kvarstår emellertid oberoende av eventuella åtgärder på ventilationsområdet. Dessa frågor har inte i tillräcklig grad uppmärksammats tidigare och hittills finns inte tillräckligt kunskapsunderlag för att avgöra riskerna i samband med strålning i våra bostäder och vilka åtgärder som är lämpligast att vidta.

Alternativen A-D som energikommissionen arbetar med skiljer sig obetydligt i fråga om risker för strålningsskador i samband med radon. Alternativ A och B innebär visserligen längre gående besparingsåtgärder än alternativ C och D. Tätning och minskad ventilation hör emellertid till de billigaste åtgärderna och de är till stor del inräknade i alternativ C och D som bygger på industriverkets referensprognos där tätning ingår.

Besparingsprogrammen kan också ändras. I stället för tätning kan man vidta åtgärder för t.ex. återvinning

av värme. Det innebär energibesparingar men minskar inte luftomsättningen i byggnaderna. Ett längre gående besparingsprogram med isoleringsåtgärder m.m. kan också underlätta och kombineras med åtgärder för att minska radonhalten. På grund av dessa möjligheter i de aktuella bostäderna finns det ingen anledning till förändringar i uppskattningen av de totala besparingsmöjligheterna som redovisats i huvudbetänkandet.

3 HAVERIRISKER

3.1 Kol

3.1.1 Inledning

För kolets väg från producent till konsument är risken för stora olyckor störst i själva produktionsledet. Trots att någon storskalig kolbrytning numera ej sker i Sverige anser kommissionen det berättigat att inräkna även detta led vid riskbedömningen. Även stora olyckor i samband med koltransporter är tänkbara. I kommissionens underlag har i huvudsak ingått material avseende stora olyckor i samband med utvinning av kol som bryts under jord, varför redovisningen i det följande inskränks härtill. Detta utesluter inte att risk för olyckor med mer eller mindre omfattande följder för omgivningen även kan drabba andra hanteringsled. Exempel härpå kan vara brand i stora kolupplag och koldammexplosioner i andra led än vid kolbrytning.

Haveririsker förknippade med kol har tidigare delvis redovisats i kommissionens huvudbetänkande (SOU 1978: 17, avsnitt 6.6.1).

3.1.2 Stora olyckor i samband med kolbrytning

3.1.2.1 Explosion i kolgruva

Vid kolbrytning under jord bildas ett fint koldamm, vilket vid blandning med luft kan leda till explosioner. I kolgruvor förekommer även metan (gruvgas) som med luft kan ge en explosiv blandning.

Den tryckvåg som bildas vid en explosion orsakad av en blandning mellan luft och koldamm alternativt metan kan virvla upp koldamm, varefter explosionen kan spridas vidare i gruvan.

Genom bl. a. förbättrad ventilation kan den nämnda typen av explosioner i kolgruvor begränsas. Sålunda inträffade kring sekelskiftet i England en explosion med mer än 100 dödade ungefär vart tredje år. För perioden 1870-1920 innebar detta att i genomsnitt 160 personer per år omkom på detta sätt. Motsvarande

siffra var för perioden 1924-1964 50 omkomna per år. Genom bl.a. insatta åtgärder har antalet omkomna kunnat kraftigt reduceras så att under perioden 1964-1974 i medeltal endast ett dödsfall har krävts årligen i sådana explosioner.

I USA har utvecklingen inte varit så gynnsam som i England och under perioden 1960-1970 inträffade en explosion med mer än 5 dödade per ca 200 milj. ton brutet kol. För den angivna perioden skulle detta innebära att 2-3 explosioner inträffade årligen.

De största olyckorna var följande:

År	Gruva	Antal dödsoffer
1960	Pine Creek	18
1961	Terre Haute	22
1962	Carmichaels	37
1963	Dola	22
1968	Farmington	78
1970	Hyden	38

I länder med dålig teknisk standard i gruvorna och bristande omtanke om arbetarnas säkerhet är riskerna väsentligt större. I Rhodesia dödades mer än 400 personer vid en koldammexplosion i kolgruvan Wankie år 1972.

Det bör framhållas att explosioner i gruvor endast bidrar till en mindre del av de dödsoffer som krävs i kolgruvorna. Mekaniska olyckor, ras och yrkessjukdomar står uppskattningsvis för över 90 % av dödsfallen.

3.1.2.2 Ras av avfallsupplag och slamdamm

Vid kolgruvorna separeras avfall som exempelvis bergrester från kolet för att på så sätt nedbringa den icke utnyttjningsbara mängden samt föroreningar i övrigt. Sådant avfall lagras vanligen ovan jord.

I oktober 1966 rasade ett sådant avfallsupplag över byn Aberfan i England varvid 144 människor, därav 116 barn, dödades. Risken för sådana händelser är beroende av de lokala förhållandena och påverkas i mycket hög grad av upplagets placering och utförande.

Det vatten som erhålles från tvättning av kol och vid länshållning av gruvor passerar en eller flera dammar, där fasta partiklar sedimenterar, innan vattnet släpps vidare ut till recipient.

En sådan damm, byggd av avfall från kolbrytningen, rasade år 1972 vid Buffalo Creek i USA varvid 118

människor dödades och 4 000 förlorade sina hem. Risken för en sådan olycka är beroende av lokala förhållanden och generella slutsatser kan ej dras.

3.1.3 Sammanfattande synpunkter

Stora olyckor i samband med kolhantering leder främst till omedelbara skador och dödsfall och kan i vissa fall (rasolyckor) leda till begränsad landskapspåverkan.

Den samlade erfarenheten tyder på att de största riskerna orsakas av explosioner och ras i gruvor. Risktillskottet från transportolyckor torde vara litet.

För jämförelse med andra energislag kan uppgifter enligt tabell 3.1 beträffande sannolikheten för en stor olycka utnyttjas.

Tabell 3.1 Risk för stora olyckor vid kolhantering

Antal omkomna större än	Sannolikhet per 1000 MW kondenskraftverk vid 20 års drift	Sannolikhet per TWh primär energi
20	0,062-0,086	$1,7 \cdot 10^{-4}$-$2,3 \cdot 10^{-4}$
50	0,025-0,043	$6,7 \cdot 10^{-5}$-$1,14 \cdot 10^{-4}$
100	0,014-0,029	$3,7 \cdot 10^{-5}$-$7,7 \cdot 10^{-5}$
200	0,009-0,021	$2,4 \cdot 10^{-5}$-$5,6 \cdot 10^{-5}$

Om tabellen utnyttjas för sådana jämförelser är det emellertid viktigt att observera att stora variationer i risk förekommer mellan olika gruvor beroende på de lokala förhållandena och den brytningsteknik som används. Vid dagbrott torde risken ligga betydligt lägre än vad som anges i tabellen.

3.2 Olja

3.2.1 Inledning

Alltifrån utvinningen av olja till dess att oljan förbrukas hos de slutliga användarna finns risk för olyckor med mer eller mindre omfattande konsekvenser. Typen av olyckor exempelvis explosionsartade bränder eller haverier med tankfartyg bestämmer också konsekvensernas art och omfattning. Haveririsker för-

knippade med olja har tidigare delvis redovisats i kommissionens huvudbetänkande (SOU 1978:17, avsnitt 6.6.2).

3.2.2 Stora olyckor i samband med utvinning av olja

Olje- och gasfyndigheter står ofta under högt tryck vilket vid borrning innebär risk för inströmning av formationsvätska (olja, gas, vatten) i borrhålet. Sådan inströmning, s. k. kick, kan förekomma när det hydrostatiska trycket[1] i den borrvätska som erfordras vid borrningen är mindre än bergformationens vätsketryck och bergarten dessutom är permeabel (genomtränglig). Vätskeinströmning i borrhål kan i regel snabbt stoppas, men vid olyckliga omständigheter kan den utvecklas till en okontrollerad utblåsning, s. k. blow-out.

De faktorer som kan leda till inströmning av formationsvätska i borrhålet är kända och kan i princip kontrolleras. Orsaken till att okontrollerade utblåsningar ändå förekommer beror i flertalet fall på felbedömningar av situationen men även på bristande utbildning och träning av den personal som arbetar med oljeutvinning.

Risken för okontrollerade utblåsningar är störst vid prospektering efter olja till havs, offshore, där ca 1 hål av 500 leder till utblåsning. Högst en av tio utblåsningar torde få avsevärda konsekvenser. Det hittills största utsläppet av olja från en utblåsning offshore omfattade mer än 300 000 ton och varade under flera månader. Den helt dominerande delen av utblåsningarna stoppas emellertid snabbt och konsekvenserna blir därmed små.

Det har angetts att i extrema fall kan en utblåsning vid en oljeborrningsplattform i Nordsjön leda till utsläpp av 10 000 ton olja per dag och under olyckliga omständigheter ta upp emot ett halvt år att stoppa. Totalt skulle sålunda 1,5 milj. ton olja kunna frigöras. Konsekvenserna av en sådan olycka skulle bli mycket allvarliga (se 3.2.3.1 nedan). Som en jämförelse kan nämnas att den s. k. Bravoolyckan i Ekofiskfältet i april 1977, vilken var den första okontrollerade utblåsningen på norsk kontinentalsockel, under åtta dygn ledde till ett utsläpp

---

1) En vätska utövar på grund av sin tyngd ett tryck mot en yta inuti vätskan. Detta tryck benämns det hydrostatiska trycket.

av 22 500 ton olja och 10,5-12 milj m^3 gas. Produktionen vid plattformen kunde återupptas först efter ca 2,5 månader. Skador som hittills rapporterats gällde främst plankton, vilket betyder att såväl marina näringskedjor som larvstadier av fiskar har påverkats.

3.2.3 Stora olyckor i samband med transport av råolja och oljeprodukter

3.2.3.1 Transporter av råolja

Transport av råolja med mycket stora tankbåtar leder till stora utsläpp av olja vid förlisning. Flera totalhaverier med supertankers har inträffat under senare år. Som exempel kan nämnas förlisningen av Torrey Canyon i Engelska kanalen med ett utsläpp av 100 000 ton olja, Metula i Magellans sund med utsläppet 50 000 ton, Urquoila vid Spanien med utsläppet 60 000-90 000 ton och nu senast den största olyckan någonsin med Amoco Cadiz utanför Bretagne med utsläppet 250 000 ton. Som jämförelse kan i detta hänseende nämnas att det vid det uppmärksammade haveriet med fartyget Tsesis i Södertäljeleden oktober 1977 släpptes ut 600 ton olja.

Konsekvenserna av sådana olyckor i form av nedoljade stränder samt skador på fåglar, fiskar och andra marina organismer har varit omfattande vilket har vållat katastrofartade situationer för kustnäringar som fiske och turism. Härutöver kan inte uteslutas att människor som arbetar med att ta hand om den utsläppta oljan också drabbas av ohälsa.

Under perioden 1969-1973 totalförliste sammanlagt 51 tankbåtar vardera överstigande 3 000 dwt. I genomsnitt innebar detta en totalförlisning varje månad.

Erfarenheterna från flera större och mindre oljeutsläpp i världshaven visar att de olyckor som fått de allvarligaste ekologiska effekterna har inträffat i grunda relativt instängda farvatten där halten olja eller utlösta oljekomponenter i vattnet snabbt blivit mycket höga.

Ur svensk synpunkt är givetvis effekterna av utsläpp i Östersjön av särskilt intresse. Detta innanhav kan karaktäriseras som ett grunt, instängt hav med utomordentligt lång omsättningstid på sitt vatten. Flera andra hydrografiska och även biologiska faktorer bidrar till att göra detta område potentiellt mycket mera sårbart för oljeutsläpp än andra områden. Hit hör den låga medeltemperaturen, den låga biologiska buffertkapaciteten och den redan tidigare ansträngda föroreningssituationen.

Expertgruppen för säkerhet och miljö har studerat två utsläppssituationer i Östersjön.

Fall A En supertanker lastad med råolja från Persiska viken, på väg genom Östersjön mot Helsingfors, förliser vid Norra Midsjöbanken, några distansminuter vid sidan om den ordinarie rutten. Fartyget står relativt lätt på grundet, men sjö och vind vrider fartyget under det första dygnet så att skadorna blir omfattande. Under sju till tio dagar förloras lasten, 75 000 - 100 000 ton olja inklusive fartygets egen bunkerolja. Vinden är sydlig och styv kuling råder med vindstyrkor på 10 till 15 m/sek. Olyckan sker på vårvintern med dålig sikt och vattentemperaturer omkring 5°C.

Fall B En tanker lastad med dieselolja och lätt brännolja (villaolja) förliser vid Hävringe på väg in till Norrköping. Ca 10 000 ton olja förloras i samband med olyckan. Vinden är nordlig och styv kuling till halv storm råder med vindstyrkor omkring 20 m/sek. Olyckan sker på hösten och vattentemperaturen är ca 10°C.

I fall A kommer de allvarligaste biologiska effekterna troligen att drabba strandzonen. Om större sammanhängande kuststränder drabbas kan återhämtningen kräva tiotals år. Det är möjligt att vissa arter, om de decimeras så mycket att de passerar en kritisk nivå, inte alls förmår återhämta sig. Stora mängder olja kommer att inlagras i bottensedimenten och utgöra en potentiell risk under kanske årtionden.

Problem med nerkletade fiskeredskap kan drabba fisket i hela havsområdet Öland - Gotland - fastlandet under en period av en till två månader. De långsiktiga effekterna på fisket i Östersjön är svåra att uppskatta, men man torde behöva räkna med minskade fångster under en tioårsperiod. Skadorna på fisket kan bli irreversibla.

Omfattande skador på fågellivet kan förväntas. I värsta fall kan omkring en miljon fåglar drabbas och vissa arter hotas av utrotning.

Effekterna på rekreation och friluftsliv blir beroende på den strandsanering som kan genomföras. En totalsanering uppskattas behöva pågå under flera års tid.

I fall B antas de biologiska effekterna också drabba djupare områden. Återhämtningen kan kräva flera år.

Skador på fågellivet kan innebära att ca 30 000 fåglar omkommer. Effekterna blir lokala. Det är troligt att strandsanering i detta fall kan utföras under den

följande vintern.

Skadorna i fall B blir av väsentligt mindre omfattning än i fall A där vissa risker förefaller att finnas för att balansen i ekosystemet rubbas för alltid.

En begränsning av tankfartygsstorleken i Östersjön förefaller att vara en möjlighet att eliminera risken för konsekvenser av den omfattning som fall A kan innebära.

Om risken för stora lokala konsekvenser vid oljeutsläpp av den storleksordning som antagits i fall B är oacceptabla måste kraftig begränsning av laststorleken och eventuellt andra transportsystem övervägas.

Oljeutsläpp i arktiska farvatten ger risker ur klimatsynpunkt. Vid utsläpp kan oljan komma att täcka isen och detta kan leda till att isen snabbt smälter bort. Detta kommer i sin tur att påverka klimatet på hela norra halvklotet. Möjligheterna att påverka dessa risker genom svenska åtgärder är uppenbarligen mycket små.

Det förekommer internationellt samarbete som syftar till att förbättra beredskapen mot skilda slag av oljeutsläpp från tankfartyg. En åtgärd som därvid har diskuterats är att förse fartygens lasttankar med dubbla väggar.

3.2.3.2 Transporter av oljeprodukter

På uppdrag av kommissionen har Battelle-institutet bedömt de risker som allmänheten i Göteborg utsätts för i samband med transport av oljeprodukter med bil, järnväg och båt.

Mer än 100 000 tankbilar lastade med brandfarliga oljeprodukter lämnar Göteborg varje år. Dessa transporter dominerar riskbilden och risken för att någon skall omkomma under de närmaste 25 åren till följd av antänd vätska, utspilld i samband med trafikolycka med tankbil inblandad, har bedömts vara ett par procent.

Gasol (propan och butan) transporteras per lastbil i trycksatta behållare. Om tanken rämnar och innehållet omedelbart antänds kan personer i närheten dödas av värmestrålning eller vid explosion genom kringflygande delar. Risken för att en sådan olycka skall inträffa i Göteborg under de närmaste 25 åren och leda till ett tiotal dödsoffer bedöms vara 1 på 40 000. Om olyckan inträffar t. ex. intill en skolgård under rast kan antalet dödade bli flera hundra.

Risken för detta är väsentligt mindre.

Om en tankbil med gasol havererar och gasen frigörs utan att antändas bildas en explosiv blandning med luft. Denna kan sedan driva med vinden och antingen spädas ut till ofarlig koncentration eller tändas med en explosion som följd. Risken för att en sådan olycka skall inträffa ett visst år i Göteborg uppskattas enligt följande.

Antal dödsoffer	Risk
1	$5 \cdot 10^{-6}$
3	$5 \cdot 10^{-6}$
10	$1 \cdot 10^{-6}$
30	$6 \cdot 10^{-8}$
100	$3 \cdot 10^{-8}$
300	$3 \cdot 10^{-8}$

Risken för att någon eller några personer skall omkomma i en sådan olycka i Göteborg under de närmaste 25 åren är således 0,01%. Ca var hundrade olycka av denna typ väntas leda till mer än 100 dödsoffer.

En liknande olycka kan tänkas inträffa genom att en järnvägsvagn med gasol havererar. Risken härför har bedömts vara ungefär lika stor som för motsvarande olycka med tankbil.

Liknande gasmoln kan även orsakas genom fartygskollisioner i Göteborgs hamn. I detta fall kan det bli större kvantiteter gasol som läcker ut och under olyckliga omständigheter kan flera hundra personer dödas.

Om gasmolnet förbränns genom detonation (förbränningsfronten rör sig med överljudshastighet) blir övertrycket väsentligt större än vid vanlig explosion inom ett så begränsat område att det inte har bedömts påverka riskbilden. Risken för att en explosion skall övergå till detonation har bedömts vara mycket liten.

3.2.4 Stora olyckor vid raffinering av olja

På uppdrag av kommissionen har Battelle-institutet även bedömt de risker som är förknippade med oljeraffinaderierna i Göteborg. Två olycksförlopp med potentiellt allvarliga konsekvenser för allmänheten identifierades:

1. Explosion av en tom cistern inom raffinaderiområdet.

2. Totalhaveri av cisterner med tetrametylbly (TML) till följd av flygplanshaveri.

Tryckvågen från en explosion av en tom cistern vid raffinaderierna kan tänkas skada intilliggande industribyggnader och förorsaka ett trettiotal dödsoffer. Risken för att en sådan olycka skall inträffa i Göteborg under de kommande 25 åren har bedömts till ca en på hundra tusen.

Vid BP:s och Shells raffinaderier i Göteborg finns 2 resp. 3 cisterner för tetrametylbly (TML), vardera rymmande 100 m^3. I ett scenario har beräknats befolkningens exposition för TML efter det att en cistern har rämnat i samband med en flygolycka. I scenariet antogs att det inte uppstår brand samt att 3 % av innehållet i en full cistern förångas inom två timmar.

Konsekvensen av en sådan olycka blir att mellan 3 000 och 6 000 personer blir utsatta för 0,1 - 200 mg/m^3 av TML i luften. Detta motsvarar exposition för extremt tät stadstrafik under 8 timmar per dag under 1 vecka vid en exposition av 0,1 mg/m^3 av TML och under 40 år vid en exposition av 200 mg/m^3 av TML. Det kan inte uteslutas att detta leder till akuta dödsfall och sjukdomsfall samt långsiktiga skador på centrala nervsystemet för de som blir exponerade.

Risken att cisternerna med TML skall träffas av störtande flygplan är liten, ca $1 \cdot 10^{-8}$ per år. Det kan dock inte uteslutas att det finns någon annan utlösande händelse vid exempelvis lossning och inpumpning av TML i cisternerna som kan innebära större risk för allmänheten vid utsläpp av TML än risken med störtande flygplan.

3.2.5 Stora olyckor i samband med lagring av råolja och oljeprodukter

Lager av flytande oljeprodukter kan innebära risk för allmänheten. Vid läckage i oljecisterner rinner olja, som kan vara brinnande, ut i omgivningen. Om brand i oljelager uppstår kan allmänheten bli utsatt för förbränningsprodukter som t. ex. cancerogena kolväten, sot och svaveloxider.

I Göteborg, som har specialstuderats i detta hänseende, medför invallningar och topografin i övrigt att utläckande olja inte kan rinna in i t. ex. bostadsområden. Vid ett läckage hamnar oljan i första hand i invallningen runt tanken och i andra hand i hamnbassängen, där den kan stängas in med länsor.

Röken från en brand sprids däremot i omgivningen och en sådan olycka har studerats av Battelle-institutet på uppdrag av kommissionen.

Två scenarier har analyserats:

1. En tank med råolja eller tung eldningsolja brinner under åtta timmar och släcks sedan av brandkåren[1].

2. En tank med högoktanig bensin (med 0,15 g bly per liter) brinner under 8 timmar och släcks sedan av brandkåren[1].

Epidemiologiska data visar att det föreligger en överdödlighet (ovanligt många dödsfall) när föroreningshalten i luften är hög. Med dessa data har uppskattats att det finns ca 5% risk för ett extra dödsfall bland de personer som blir utsatta för röken från en brinnande rå- eller tjockoljecistern. Om flera cisterner brinner på en gång blir visserligen rökutvecklingen större, men samtidigt har röken ett större värmeinnehåll och stiger följaktligen till högre höjd med effektivare utspädning som följd. Detta fall har ej studerats närmare.

På liknande sätt har man genom att anta ett lineärt dos/effektsamband mellan exposition för bens(a)pyren och induktion av lungcancer beräknat att det är ett par procents risk för att röken från en sådan brand inducerar ett lungcancerfall bland de ca 10 000 personer som har beräknats bli utsatta för röken i Göteborg.

---

1) Om branden fortsätter bedöms detta dock inte nämnvärt påverka konsekvenserna för allmänheten.

Risken för att en stor cistern med högoktanig bensin skall råka i brand i Göteborg har uppskattats till ca $3 \cdot 10^{-6}$ per år. Den exposition för organiskt bundet bly som ca 10 000 personer då blir utsatta för motsvarar ett par timmars vistelse vid en hårt trafikerad stadsgata om 99% av blyföreningarna bryts ner till oorganisk form vid branden. Av detta framgår att man knappast behöver befara effekter av blytutsläppen från en sådan bensinbrand även om väsentligt större andel än 1 % skulle förbli organiskt bundet.

3.3 Naturgas

3.3.1 Inledning

Naturgas, som huvudsakligen utgörs av metan, utnyttjas för energiändamål i en stor del av världen, dock ej i Sverige. Merparten av gasen distribueras från källa till konsument i rör och i gasform. På senare år har det även blivit möjligt att kondensera gasen och transportera den sjövägen i flytande form, LNG.

Risken för stora olyckor med naturgas är störst för leden utvinning och rördistribution samt för all den hantering som är förknippad med LNG. Riskerna vid gasutvinning, främst i form av okontrollerade utblåsningar, är samma som för olja (se avsnitt 3.2), men konsekvenserna blir av en annan och mindre allvarlig art.

I detta sammanhang kan framhållas att det finns risk för stora olyckor med andra sorters gaser som används för energiändamål i Sverige. Främst gäller detta för gasol (butan och propan) och stadsgas.

Under det senaste året har i debatten om en eventuell svensk naturgasintroduktion stor uppmärksamhet riktats mot möjligheten att importera gasen i form av LNG. I det sammanhanget kom riskerna för stora olyckor med LNG i förgrunden. För att erhålla en för Sverige relevant bedömning av riskerna vid import av LNG har kommissionen låtit göra en riskstudie för import av LNG till en terminal förlagd till Brofjorden. Studien av risker vid import av LNG till Sverige har utförts av Battelle-institutet och delvis redovisats i kommissionens huvudbetänkande (SOU 1978:17, avsnitt 6.6.3).

3.3.2 Stora olyckor i samband med import av LNG

3.3.2.1 Allmänt

Terminalens tekniska uppbyggnad och funktion har definierats i generella termer för att kunna identifiera, beskriva och kvantifiera olyckshändelser med

stora konsekvenser för allmänheten. Eftersom det ej finns empiriska data till olyckor med LNG, har olycksfrekvenser för undersystem och komponenter baserats på internationella data för liknande system.

Ett flertal liknande studier har gjorts för andra terminaler i världen. Jämförelser har kunnat göras med några av dessa.

3.3.2.2 Systembeskrivning

Flytande naturgas erhålles genom kondensation av naturgas vid -162°C. Under kondensationen avskiljes svavelföreningar, vattenånga m.m. Naturgas består huvudsakligen av metan vilken tillsammans med luft kan bilda en brännbar blandning.

Den sålunda nedkylda och kondenserade gasen transporteras under atmosfärstryck i speciella tankers. I riskstudien har bl.a. förutsatts att en sådan tanker kan lasta 133 000 m^3 gas uppdelad på fem tankar vilka ligger ca 3 m från fartygsskrovet. Härigenom minimeras risken för läckage vid en eventuell olycka.

Samma farled som nu används för oljetankers till Scanraffs raffinaderi vid Brofjorden har förutsatts. Angöringen har förutsatts ske endast i dagsljus och under i bl.a. särskilt definierade väderleksförhållanden.

Vid ankomsten till terminalen har antagits att gasen pumpas över till antingen lagertankar ovan jord eller till bergrum. Därifrån har antagits att den flytande gasen förs till en förångningsanläggning för vidare befordran till ett tänkt gasledningssystem för södra Sverige.

Två importalternativ har studerats. Det ena alternativet förutsätter en import av 3 milj. m^3 (17 TWh) LNG per år. Terminalens lagerkapacitet har angivits till 0,3 milj. m^3. Alternativet medför att 23 båtslaster gas per år erfordras. Det andra alternativet förutsätter en import av 27 milj. m^3 (154 TWh) LNG per år. Terminalens lagerkapacitet har angivits till 1 milj. m^3. Alternativet medför att 208 båtslaster gas per år erfordras.

Det från terminalen utgående gasnätet har i det mindre alternativet antagits ha en maximal längd av 600 km. I det större importalternativet har antagits att den maximala längden på gasnätet uppgår till 1800 km.

3.3.2.3 Möjliga olyckor

I det följande beskrivs sådana olyckor som kan ledá till betydande utsläpp av LNG.

För att kunna skada en LNG-tank vid en tankerkollision måste det kolliderande fartyget träffa LNG-tankern med relativt rät vinkel mot sidan. Vidare måste ett fartyg på 10 000 ton ha en hastighet på minst fyra knop och ett fartyg på 30 000 ton minst två knop. Kollisioner anses kunna ske vid kaj eller vid anlöpning till farleden från Skagerack.

Grundstötning kan åstadkomma läckage för en tank om fartygets hastighet är högre än tio knop och det påkörda grundet är tillräckligt "vasst". Risk för detta anses enbart föreligga vid passage av Dynabrott.

Frisläppt mängd LNG anges till 25 000 m^3 både för kollision och grundstötning.

Möjligheten av att en LNG-tanker vid lossning träffas av ett flygplan har kvantifierats. Vidare utgör ventilerna i de ledningar som för LNG från tankern till terminalens lagerrum potentiella olycksrisker. Beräknad utsläppt mängd LNG anges till 500 m^3.

Risken för stora olyckor med utsläpp från terminalens lagerrum har bedömts som störst i det fall att ett flygplan störtar ned på en lagertank ovan jord. Härvid kan 100 000 m^3 LNG frigöras. Risken för olyckor i samband med bergrumförvaring anses vara mindre och konsekvenserna av en olycka ej bli större än vid lagring ovan jord varför den inte närmare har beräknats.

Vid vidaredistributionen från terminal till förbrukningscentra kan olyckor med konsekvenser för allmänheten uppstå om rörbrott inom befolkade områden sker. Sådana olyckor kan naturligtvis även inträffa i det fall gasimporten sker i annan form än LNG.

3.3.2.4 Konsekvenser av stora olyckor med LNG

De mest omfattande konsekvenserna för allmänheten av någon av de i 3.3.2.3 beskrivna olyckorna uppstår då ett stort gasmoln antänds.

Om den flytande gasen vid olyckstillfället inte antänds kommer efter förgasning ett gasmoln att bildas, vilket kommer att spridas i vindriktningen tills det inte längre är antändbart. Innan så sker kan molnet dock antändas och en brand sprider sig baklänges till källan. Härvid kommer alla de människor som be-

finner sig inom och i omedelbar anslutning till molnet att omkomma.

Vid en tankerolycka antages att volymen av en tank, 25 000 m^3, momentant rinner ut och lägger sig på vattenytan. Därvid förångas LNG under kokning. Om LNG rinner ut över land går ej förångningen lika fort som på vatten, då marken fryser till och bildar en isolator.

Om gasen inte antänds vid olyckstillfället bildas ett gasmoln vid utsläppsplatsen. Sannolikheten för detta anges i studien till 20 % för en tankerolycka, 70 % för en grundstötning samt 10 % vid en flygplansolycka.

Endast ett gasmoln med metankoncentration över undre explosionsgränsen vid markytan kan anses innebära en riskkälla med allvarliga konsekvenser. För att erhålla det största möjliga avståndet från utsläppspunkten tills denna koncentration är underskriden eller tills molnet har lämnat markytan har skapats en matematisk modell.

Enligt studien visar det sig att vid lugna vindförhållanden är den tid som molnet ligger kvar vid vattenytan avgörande. Efter 3 km blir det gasmoln som uppkommer från en skadad lagertank lättare än luften och stiger. Motsvarande avstånd för en tankerolycka är 1,5 km och för en lossningsolycka 500 m.

För mindre utsläpp vid vindhastigheter över 12 m/s erhålles koncentrationer under undre explosionsgränsen, innan molnet blir lättare än luft.

Längsta sträcka som ett explosivt moln kan uppnå över platt mark under sämsta betingelser är 15 km vid en lagertankolycka, 6 km vid en tankerolycka och 2 km vid en lossningsolycka.

En blandning av luft och metan brinner om koncentrationen av metan är mellan 5 och 15 volymprocent. Antändningen kan ske på olika sätt t. ex. genom varma partiklar från friktion eller flammor, elektriska gnistor, varma ytor samt genom flammor och varma gaser.

Reaktionen vid antändning av ett gasmoln är mycket snabb. Sannolikheten att en snabb förbränning skall övergå till en explosion med därav resulterande högre övertryck anses vara ringa. Ur studien har helt uteslutits möjligheten att gasmolnet skulle kunna detonera.

Naturgas som släpps ut från ett rörbrott är lättare än luft och stiger därför. Det anses dock att en brännbar blandning av luft och metan kan förflytta

sig i marknivå ca 100 m från utsläppet. Denna gasblandning kan driva in i byggnader, antändas och snabbt förbrännas.

I riskstudien har beräknats det förväntade antal dödsfall som olika olyckor kan resultera i. Risken har angetts som sannolikheten för att ett visst antal personer inom ett år dödas av ett brinnande gasmoln. Resultaten redovisas i tabell 3.2, varur det framgår att sannolikheten för mera omfattande katastrofer i flertalet fall är liten.

Tabell 3.2 Sannolikheten för att visst antal personer dödas av ett brinnande gasmoln

Olycka	Sannolikhet för N dödsfall[a]		
	N=10	N=100	N=1000
Kollision på öppet hav	$1 \cdot 10^{-14}$	-	-
Grundstötning	$2 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-11}$
Kollision vid kaj	$1 \cdot 10^{-10}$	$8 \cdot 10^{-11}$	-
Brott på lossningsledning	$1 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-9}$	-
Kollaps av landbaserad tank	$4 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-13}$
Brott på distributionsnät	$2 \cdot 10^{-8}$	-	-
Hela systemet	$3 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-11}$

[a] Redovisade värden gäller för båda alternativen (import av 3 resp. 27 milj. m^3 LNG)

Om det inte finns lagertankar över jord reduceras risken med en faktor 10 utanför en cirkel med 5 km diameter.

Osäkerheten i riskuppskattningar är stor, minst en faktor 10 upp eller ner.

3.3.2.5 Riskstudier från andra länder

Konsekvenserna av olyckor vid import av LNG har studerats för ett flertal terminaler i övriga delar av världen. Några som kan nämnas är Rotterdam i Holland samt New York, Oxnard och Los Angeles i USA.

Dessa och andra studier har kommit fram till helt olika resultat med avseende på det hot en LNG-terminal kan utgöra för en närliggande storstad. De resultat som redovisas i dessa riskstudier härrör från teoretiska modeller och antaganden blandade med experimentella resultat från småskaliga försök. Olika personers och institutioners behandling av dessa data leder till skilda slutsatser, vilket i sin tur ger olika resultat. Genom att göra en jämförelse och utvärdering mellan de olika studierna kan man härleda vissa punkter där relevanta skillnader föreligger.

Vid en olycka där LNG frigöres kan gasen antingen antändas direkt eller bilda ett gasmoln som driver för vinden. Det senare alternativet utgör det största hotet mot omkringliggande bebyggelse. Sannolikheten för omedelbar antändning vid olika olyckor och för olika studier framgår av tabell 3.3.

Tabell 3.3 Sannolikheten för omedelbar antändning vid olika olyckor

	Brofjorden	Rotterdam	Oxnard	Los Angeles
Tankerkollison	80 %	65 %	90 %	90 %
Tankergrundstötning	30 %	10 %	-	-
Flygplanskrasch	90 %	-	90 %	90 %

För fel som rörbrott, ventilhaverier m. m. antages att gasen ej antänds omedelbart.

Många olika beräkningar har redovisats för hur långt från utsläppsplatsen det bildade gasmolnet kan nå innan det anses ofarligt. Ofarligt innebär att det inte längre är antändbart. Det måste dock påpekas att i det fall molnet kommer in över befolkade områden så är sannolikheten låg för att detta maximala avstånd skall uppnås, eftersom det inom det befolkade området finns ett stort antal potentiella tändningskällor för molnet. I tabell 3.4 redovisas

några i olika förläggningsstudier redovisade värden för avstånd från utsläpp av LNG på vatten tills bildat gasmoln inte är antändbart.

Tabell 3.4 Avstånd från utsläpp av LNG på vattnet tills bildat gasmoln inte är antändbart, km

LNG m^3	Brofjorden	Rotterdam	Oxnard Los Angeles	New York
100 000	2,2	4,6	4,0[b]	5,0
25 000	1,5	2,7	3,4[c]	-
500	1,2	1,4[a]	-	1,0[d]

a Avser utsläpp av 4 000 m^3 LNG
b " " " 88 000 " "
c " " " 37 500 " "
d " " " 5 000 " "

Redovisade värden gäller för stabila väderförhållanden med måttliga vindar, ca 7 m/s. Kraftigare vindar och mycket stabilt väder med inversionslager gör att dessa värden kan fördubblas.

I det fall bildat gasmoln driver in över befolkade områden finns risk för antändning. Det anses i de flesta studierna finnas en chans om 1 % för varje person inom området att utföra en handling som kommer att antända molnet. Alla studier anger att antändningen leder till en snabb förbränning av gasmolnet och att alla människor inom eller under detsamma omkommer. I studierna för Oxnard och Los Angeles anses dock att ca 20 % av befolkningen som befinner sig inomhus överlever.

I samtliga nämnda studier anses att risken är obefintlig för att ett moln av metan och luft skall detonera. I studien för Rotterdam medtas risken för detonation, utgående från att byggnader och terräng kan ge reflektioner. Risken för detonation anges till en på hundra gasmolnsbränder.

Individrisken vid tre olika terminaler i Kalifornien har av tre olika institutioner beräknats till $1 \cdot 10^{-7}$ per individ och år. Motsvarande risk för den bofasta befolkningen vid Brofjorden har beräknats till $1 \cdot 10^{-9}$. Denna risk motsvarar ungefärligen risken för

att en individ, som befinner sig på marken var som helst i Sverige, skall omkomma genom att ett flygplan störtar ned.

3.4 Kärnkraft

3.4.1 Inledning

Ett kärnkraftverk som varit i drift innehåller radioaktiva ämnen som bildats vid klyvning av uranbränslet. Den största delen av radioaktiviteten finns i reaktorhärdens bränsle samt i det använda bränslet som förvaras och hanteras inom anläggningen. De radioaktiva ämnena är vid normala arbetstemperaturer fast bundna till bränslematerialet.

Kärnkraftanläggningar är utformade med omfattande åtgärder för att förhindra att radioaktiva ämnen läcker ut till omgivningen. Anläggningarna utsätts regelbundet för ingående kontroll och driften omgärdas av omfattande regler för att minska risken för utsläpp av radioaktivitet. Kärnkraftverkens utformning har beskrivits i kommissionens huvudbetänkande (SOU 1978:17, avsnitt 6.2.4.1.1).

Trots vidtagna säkerhetsåtgärder kan det ändock inte uteslutas att haverier inträffar som medför att stora mängder radioaktivitet frigörs inom anläggningen.

I de fall att säkerhetssystemen därvid av någon anledning inte fungerar kan en större eller mindre del av den frigjorda aktiviteten komma att spridas i omgivningen i form av ett moln av radioaktiva gaser och partiklar som rör sig med vinden från utsläppspunkten. Beroende på väderleksförhållandena och värmeinnehållet i utsläppet kommer molnet först att stiga. Det kommer därefter att spridas mer eller mindre snabbt, avkylas och sjunka mot marken och där successivt avge radioaktiva ämnen.

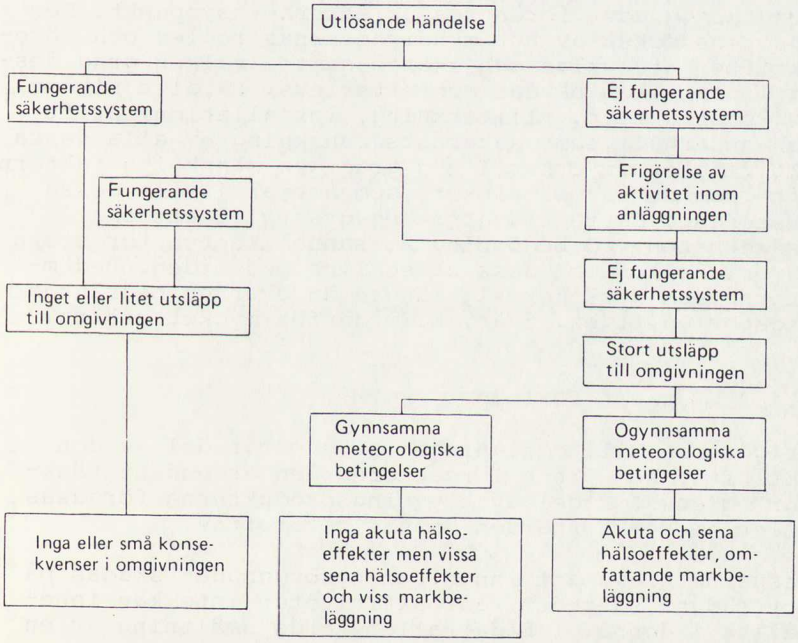
Ett sådant stort utsläpp av radioaktivitet leder till att personer som befinner sig i det område som passeras av det radioaktiva molnet bestrålas. Stråldosen blir beroende bl.a. av utsläppets storlek, spridningsförhållandena i atmosfären och uppehållstiden i området. Stora landområden kan bli belagda med kvarliggande radioaktivitet.

För att stråldoserna på större avstånd från anläggningen skall bli så höga att akuta skador uppstår

krävs att de meteorologiska förhållandena är mycket ogynnsamma.

Figur 3.1 illustrerar schematiskt utvecklingen av olika tänkbara händelseförlopp efter det att en händelse inträffat som skulle kunna leda till en stor olycka. Exempel på sådana händelser är ett större läckage på kylsystemet (exempelvis efter rörbrott), brand och fel på elförsörjning eller kontrollutrustning. Det bör observeras att omfattande utsläpp endast är möjliga om flera fel inträffar samtidigt[1], så att säkerhetssystemen inte fungerar. För att mycket omfattande skador skall erhållas erfordras vidare att väderleksförhållandena är ogynnsamma.

Figur 3.1 Möjliga händelseförlopp efter felfunktion eller skada i kärnkraftverk



1) Undantag gäller för mycket osannolika primärhändelser, exempelvis reaktortankbrott

De flesta händelseförlopp som kan förekomma i ett kärnkraftverk efter en felfunktion eller en skada följer den vänstra grenen i figur 3.1. Förloppen slutar alltså i rutan "Inga eller små konsekvenser i omgivningen". Den följande diskussionen i detta avsnitt kommer att gälla förlopp som följer den högra grenen och som slutar i antingen "Inga akuta hälsoeffekter men vissa sena hälsoeffekter och viss markbeläggning"eller "Akuta och sena hälsoeffekter, omfattande markbeläggning".

Ett antal sådana förlopp kommer att beskrivas. Vidare ges en redovisning av de säkerhetssystem som är avsedda att förhindra eller minimera utsläpp av radioaktivitet till omgivningen.

Sannolikheten för och konsekvenserna av stora utsläpp av radioaktivitet kommer att diskuteras liksom möjligheterna att med olika åtgärder minska riskerna.

En svårighet vid bedömning av de framtida sannolikheterna för stora radioaktivitetsutsläpp är att denna påverkas av att anläggningarna genom bl.a. åldrande och ombyggnader förändras ur säkerhetssynpunkt. Den påverkas också av hur myndigheternas regler och föreskrifter utvecklas och skärps samt i vilken grad dessa i praktiken hävdas och efterlevs. På alla nivåer av konstruktion, tillverkning, installation, drift och underhåll samt säkerhetsgranskning av alla dessa aktiviteter inverkar i hög grad den mänskliga faktorn eftersom det är människor som agerar i alla dessa avseenden. Detta bidrar i hög grad till att öka osäkerheten vid bedömning av sannolikheten för stora haveriutsläpp och dess utveckling med tiden. Bedömningar som sträcker sig längre än över en begränsad tidsperiod, t.ex. 5 år, blir därför mycket osäkra.

3.4.2 Haveriförlopp

Frigörelse till omgivningen av en stor del av den aktivitet som finns i reaktorhärden är endast tänkbar om en stor del av klyvningsprodukterna förgasas eller om reaktorhärden delvis förstoftas.

Dessutom krävs att inneslutningsbyggnaden skadas på ett sådant sätt att radioaktiviteten inte kan innehållas i denna. I båda fallen torde smältning av en stor del av reaktorhärden erfordras.

Smältning av reaktorhärden kan inträffa om kylningen blir otillräcklig. Smältning kan uppstå vid otillräcklig kylning på grund av den värmeutveckling (restvärme) som det radioaktiva sönderfallet av klyvningsprodukterna ger upphov till. Otillräcklig kylning kan bli följden av stora läckage i primärsystemet i kombination med fel på säkerhetssystemen. Otillräcklig kylning kan också orsakas av omfattande fel på de kylsystem som svarar för bortförandet av restvärmen. Utformningen av reaktoranläggningen är avgörande för vilka felfunktioner som har störst betydelse för möjligheten att kylningen blir otillräcklig och att härdsmältning sker.

Ett haveriförlopp som skulle innebära att reaktoranläggningen "exploderar som en kärnladdning" är inte möjligt av fysikaliska skäl i de s. k. lättvattenreaktorer som är aktuella för kraftproduktion i Sverige. Detta beror på att koncentrationen av klyvbart material i härden är för låg.

Säkerhetssystemen dimensioneras för att klara vissa angivna störningar av driften och s. k. konstruktionsstyrande haverier. De händelser som skall beaktas vid dimensionering och utformning av säkerhetssystemen sträcker sig från relativt triviala händelser, som medför risker med liten omfattning för allmänheten (ökande radioaktiva utsläpp inom tillåtliga gränser för normal drift), upp till haverisituationer med teoretisk potential för stora konsekvenser men med liten sannolikhet. Beroende på sannolikheten att olika händelser inträffar kan de indelas i tre klasser.

Den första klassen omfattar händelser med måttlig sannolikhet enligt följande:

1. Oavsiktlig utdragning av styrstav med maximal hastighet
2. Felfunktion av säkerhetsstav vid snabbstopp
3. Partiell förlust av kylmedelscirkulation
4. Oavsiktlig start av avstängd reaktorkylkrets
5. Lastbortfall och/eller turbinutlösning
6. Förlust av yttre elnät
7. Stor lastökning
8. Förlust av normalt matarvattenflöde
9. Oavsiktlig tryckavlastning i reaktorns primärsystem

Sådana händelser bör resultera i snabbstopp utan frigörelse av radioaktiva ämnen ur bränslet och med möjlighet till snabb återgång till normal effekt efter reparation

Den andra klassen av haverier omfattar händelser med låg sannolikhet enligt följande:

1. Små läckor i rör

2. Oavsiktlig laddning av bränsleelement i fel position

3. Fullständig förlust av kylmedelscirkulation

4. Fullständig förlust av all växelström

5. Stort läckage i avklingningstank för radioaktivt avfall

Sådana händelser måste visas medföra minimala radiologiska konsekvenser, men de kan resultera i långvariga driftstopp. För erhållandet av drifttillstånd måste utvärdering av dessa haverier visa att säkerhetssystem och inneslutningar kan förhindra radioaktiva utsläpp.

En tredje klass haverier omfattar mycket ovanliga olyckor som antas kunna inträffa, trots att sannolikheten för detta bedöms vara liten. Exempel härpå är:

1. Stort brott på största rörledning i reaktorns primärsystem

2. Stort brott på huvudångledning

3. Utstötning av styrstav

4. Allvarlig bränslehanteringsolycka

5. Stormvind, översvämning, jordbävning, missiler.

Sådana hypotetiska olyckor utvärderas under starkt ogynnsamma (konservativa) antaganden, t. ex. att ett fullständigt brott på en stor rörledning kan inträffa momentant samtidigt som funktionen hos säkerhetssystemen är nedsatt. Säkerhetssystemen skall konstrueras så att sådana haverier endast medför små konsekvenser för omgivningen.

Man har inte funnit det rimligt att kräva att säkerhetssystemen skall förhindra stora utsläpp av radioaktivitet vid alla tänkbara haverier. Exempel på tänkbara men mycket osannolika händelser för vilka säkerhetssystemen ej dimensionerats är

- stort brott på reaktortanken

- vissa samtidiga fel i flera säkerhetssystem som exempelvis resulterar i utebliven reaktoravstängning eller resteffektkylning efter driftstörning.

Vissa händelser av detta slag leder med stor sannolikhet till ett stort utsläpp av radioaktivitet, t.ex. vid ett stort tankbrott. I andra fall kan det vid händelser av detta slag vara möjligt att helt förhindra detta genom åtgärder från driftpersonalens sida.

Förlopp som leder till stora utsläpp av radioaktivetet behandlas under 3.4.4.

3.4.3 Säkerhetssystem och dimensionering av dessa

De kärnkraftanläggningar som byggs i Sverige är utformade med flera barriärer mot spridning av radioaktiva ämnen i anläggningens omgivning.

Den första av dessa kan sägas vara själva bränslematerialet urandioxid, som är keramiskt och i stor utsträckning håller kvar de radioaktiva klyvningsprodukterna. Klyvningsprodukterna frigörs lättare vid hög temperatur och därför är det viktigt att bränslet hålls väl kylt.

Den andra barriären utgörs av bränslekapslingen som emellertid måste hållas väl kyld för att inte skadas.

Den tredje barriären utgörs av reaktortanken med anslutande rörsystem och den fjärde av en kraftig betongbyggnad med en ingjuten tätplåt av stål, den s. k. inneslutningsbyggnaden.

De enda haverier som kan medföra risker för omgivningen är sådana som kan genombryta samtliga barriärer. Sådana skadeförlopp studeras särskilt och används som en del av underlaget vid konstruktion, tillverkning och kontroll av anläggningen.

För att uppnå hög säkerhet organiseras säkerhetsaktiviteter i tre olika nivåer, som delvis överlappar varandra.

Den första nivåns åtgärder avser att förhindra olyckor genom att viktiga reaktorsystem konstrueras och byggs med hög kvalitet och noggrann kvalitetsövervakning såväl vid tillverkning som under hela driftperioden.

Den andra säkerhetsnivån omfattar skyddande anordningar och system konstruerade för att förhindra haverier eller för att avbryta deras förlopp. Dessa skyddssystem skall kunna förhindra eller avbryta olika onormala driftsituationer.

Den tredje säkerhetsnivån innebär införandet av säkerhetssystem, som kompletterar åtgärderna i de två första nivåerna genom att skydda allmänheten även i händelse av extremt osannolika haverier.

Det är av stor betydelse för säkerheten att viktiga systemfunktioner har hög tillförlitlighet. Detta söker man uppnå genom att ställa höga kvalitetskrav på ingående komponenter samt genom konstruktiva åtgärder, främst genom ett utnyttjande av principerna redundans och diversifiering.

Redundans innebär, att systemen är uppbyggda med flera lika, parallella delar, som var för sig kan fullgöra systemfunktionen. Reduntanta system klarar enkla fel i sina komponenter men kan slås ut av så kallade gemensamma eller kopplade fel, dvs. fel som uppstår i flera komponenter av samma typ.

Diversifiering betyder att en given systemfunktion kan fullgöras av flera system, som är olika uppbyggda. Reaktorns styrstavsystem och borsystem är t. ex. diversifierade i förhållande till funktionen reaktoravstängning. Denna kan fullgöras antingen genom att styrstavar skjuts in i härden, eller genom att borlösning injiceras i härdens kylvatten/moderator.

För att närmare belysa hur säkerhetssystemen är uppbyggda kommer i det följande att beskrivas vilka säkerhetssystem som skall träda i funktion vid två typer av händelser, nämligen dels vid förlust av yttre elnät, dels vid ett stort brott på rörledning i reaktorns primärsystem.

Bortfall av yttre elnät medför automatiskt övergång till s. k. husturbindrift, dvs. stationens behov av hjälpkraft för drift av kylsystemens pumpar m. m. tillgodoses från den egna ångturbingeneratorn. Misslyckad övergång till husturbindrift medför avstängning av reaktorn och behov av resteffektkylning.

Elkraftförsörjningen har stor betydelse ur säkerhetssynpunkt därför att kylsystemens pumpar och fjärrmanövrerade ventiler är elmotordrivna. Stationen är därför utrustad med lokala hjälpkraftaggregat, vilka kan överta elkraftförsörjningen om samtidigt elkraften från stationens egen turbingenerator och de bägge yttre (400 kV och 130 kV) elnäten faller bort. I en sådan situation skall inom 20 sekunder ett eller flera dieseldrivna reservkraftaggregat starta, vilka var för sig har kapacitet att driva de för resteffektkylningen erforderliga pumparna. Inom ett par minuter skall ett eller flera gasturbinaggregat starta, vilka var för sig har kapacitet att tillgodose stationens hela behov av hjälpkraft.

Totalt bortfall av såväl yttre som inre elnät kan medföra att bränslet inom ca ett dygn - eller tidigare beroende på situationen - genom bortkokning av kylvatten överhettas till smältning. Härdsmältning kan ge skador på inneslutningskärlet och radioaktivitetsutsläpp med de konsekvenser som diskuteras nedan.

Samtidigt bortfall av elkraften från de båda yttre högspänningsnäten, från bägge gasturbinaggregaten och från bägge reservkraftdieslarna kombinerat med den samtidiga oförmågan att genom reparationsåtgärder återställa elkraften från någon av dessa kraftkällor inom ett dygn bedöms vara en ytterst osannolik händelse.

I de äldre svenska kokarreaktorerna (BWR) i Oskarshamn, Ringhals och Barsebäck är förhållandena för härdens nödkylning vid stort rörbrott i stort sett följande. Vid ett stort brott på en stor rörledning ansluten till reaktortanken kommer nödkylning av bränslet i härden att vara beroende av att vatten från härdnödkylningssystemet tillförs strildysor över härden. Vattnet kan därmed spridas jämnt över bränslepatronerna så att dessa erhåller tillräcklig kylning för att begränsa kapseltemperaturen till acceptabla värden (mindre än 1 200°C).

Om rörbrottet är beläget över härden kommer tillfört nödkylvatten att så småningom fylla reaktortanken och bidra till kylningen av bränslet. I det fall att rörbrottet är beläget under härden kommer kylningen av härden att vara helt beroende av strilnödkylningen.

Denna strilnödkylning måste fortgå under lång tid till dess att åtgärder kan vidtas för att åter möjliggöra vattenfyllning av reaktortanken. Dessa åtgärder kan bl. a. innebära vattenfyllning av inneslutningskärlet till en nivå överstigande bränslet i reaktortanken. Bränslets kylning är då tillgodosedd under den tid som erfordras för att genom avklingning och rening nedbringa nivån på radioaktiviteten och att vidta åtgärder för omhändertagande av eventuellt skadade bränslepatroner. Erforderlig tid kan beroende på skadornas omfattning röra sig om månader upp till år.

Det finns två skilda och av varandra oberoende uppsättningar av pumpar och rörledningar för transport av nödkylvatten från inneslutningens vattenförråd till strildysorna. Genom denna dubblering av systemen med tillhörande kraftförsörjning till pumparna m. m. bedöms systemens funktionstillförlitlighet vara god.

Möjliga svagheter i nödkylningsfunktionens tillförlitlighet vid en rörbrottssituation kan vara bl. a. det förhållandet att nödkylvattnet tillförs

genom rörledningar i botten av reaktortanken och att rörledningarna passerar nära härden till de över härden belägna strildysorna. Vid ett stort rörbrott uppkommer under det häftiga trycksänkningsförloppet stora krafter på inre delar av reaktortanken, vilka kan komma att deformeras och därigenom ändra förutsättningarna för strilkylvattnets framkomlighet eller fördelning över bränslet.

Vid konstruktion och säkerhetsgranskning av säkerhetssystemen har olika slags felmöjligheter beaktats och åtgärder har vidtagits till skydd mot dessa. Det oaktat kvarstår alltid en liten risk att nödkylningen skall visa sig vara ineffektiv.

Ineffektiv härdnödkylning vid stort rörbrott leder till att bränslet delvis eller helt smälter ned och avger stora delar av sitt radioaktivitetsinnehåll i första hand till inneslutningskärlet. I en sådan härdsmältningssituation är emellertid sannolikheten stor för att även inneslutningskärlet kan skadas genom övertryck, genomsmältning eller ångexplosion, varvid stora utsläpp av radioaktivitet till omgivningen kan medföra de konsekvenser som redovisas i det följande.

Modernare kokarreaktorer av den typ som byggs i Forsmark har bl.a. interna cirkulationspumpar och fyra separata säkerhetssystem, vilket förbättrar säkerheten mot den typ av rörbrottshaverier, som har diskuterats här.

Som framhållits ovan är nödkylsystemen uppbyggda av flerfaldiga, separerade system, så dimensionerade att nödkylningen beräkningsmässigt skall säkerställas även vid fel som gör ett system driftodugligt. De flesta bedömare uppskattar också sannolikheten för att kylningen av reaktorhärden skall svikta på grund av att nödkylsystemen ej träder i funktion som mycket låg. Sannolikheten för att nödkylsystemen inte skall visa sig effektiva även om de träder i funktion har i WASH-1400, även kallad Rasmussenrapporten[1], antagits till mellan 1/100 000 och 1/100.

Det finns i dag inte något som tyder på att sannolikheten för otillräcklig effektivitet hos nödkylningssystemen skulle vara så hög att den väsentligt påverkar bedömningen av totalrisken för härdsmältning. En förutsättning härför är att den nämnda sannolikheten inte är större än 1/100 samt att sannolikheten för rörbrott är så låg som angivits i WASH-1400. Osäkerheten häri kan därför ge skiljaktiga bedömningar vad avser den totala risken för reaktorhaverier.

---

1) United States Atomic Energy Commission: Reactor Safety Study WASH-1400 (NUREG-75/014).

Osäkerheten i bedömningen av risken för otillfredsställande effektivitet hos nödkylningen är betydande. Underlaget för kvantitativa uppskattningar av de verkliga säkerhetsmarginalerna i beräkningarna är bristfälligt. Det finns vidare svårigheter att uppskatta risken för mekaniska skador på härd och inre delar i reaktortanken som skulle kunna äventyra nödkylningens effektivitet. Som följd av detta krävs stora säkerhetsmarginaler i dimensioneringskriterierna.

Reaktorinneslutningen är ett viktigt säkerhetssystem, som avses hindra spridningen av radioaktivitet till omgivningen efter konstruktionsstyrande haverier av typen brott i rörledningar anslutna till reaktortanken (se ovan).

En del av rörledningarna bl.a. för ånga och matarvatten passerar genom inneslutningskärlets vägg. Vid rörbrott i dessa utanför inneslutningskärlet (yttre brott) stängs en inre och en yttre s.k. skalventil belägna vid inneslutningsväggen för att förhindra kylmedelsförlust. Stängning av dessa ventiler i den brustna rörledningen kan emellertid - särskilt om stängningen på grund av felfunktion blir något fördröjd - medföra kraftiga påkänningar på ventilen på grund av den häftiga utströmningen genom brottstället.

Provning av ventiler under brottflödesförhållanden är svår att genomföra i stor skala och brist på praktiskt erfarenhetsunderlag föreligger därför för bedömning av skalventilernas funktionstillförlitlighet under nämnda förhållanden. Experiment planeras, bl.a. i Marvikenreaktorn i Sverige, för att förbättra kunskapen inom detta område.

Vid dimensionering av reaktorinneslutningar av kondensationstyp (BWR) har på senare år uppmärksammats ett särskilt fenomen. Vid ångnedblåsning i kondensationsbassängen kan bl.a. häftiga vågrörelser uppstå i denna, vilka ger upphov till dynamiska belastningar. Experiment pågår i Sverige i Marviken, i Tyskland och USA m.fl. platser för att uppmäta belastningarna.

3.4.4 Sannolikhet för ett stort utsläpp av radioaktivitet

3.4.4.1 Förlopp som leder till ett stort utsläpp

Ett utsläpp av radioaktivitet som är av den omfattningen att konsekvenserna i omgivningen kan bli mycket stora kräver att en stor del av reaktorhärden smälter. Vidare krävs att inneslutningsbyggnaden skadas på ett sådant sätt att inte större delen av radioaktiviteten stannar där.

Effektutvecklingen är hög i reaktorhärden under normal drift. Bränslets medeltemperatur ligger på omkring 1 000°C, och det är nödvändigt att härden kyls kontinuerligt. De fysikaliska förutsättningarna är emellertid sådana att härdens kylmedel samtidigt fungerar som neutronmoderator. Om kylmedlet skulle försvinna ur härden, medför detta att reaktoreffekten sjunker starkt genom att neutrontätheten minskas. Härdens innhåll av radioaktiva ämnen är emellertid normalt så stort att det av dessa ämnen utvecklade värmet måste kylas bort (resteffektkylning)[1], även om kärnklyvningsprocessen är helt avstängd.

En händelsekedja som leder till fullständigt bortfall av härdnödkylning resulterar i härdsmältning genom resteffekten. Den smälta massan består av en blandning av urandioxid, zircaloy, stål och fissionsprodukter med en temperatur av ca 2 000°C.

Förloppen vid smältning av härden och i ännu högre grad utvecklingen av situationen sedan härden smält är av naturliga skäl svåra att förutsäga bl. a. därför att knappast något experimentellt underlag föreligger.

Om härden smälter måste man, enligt WASH-1400, räkna med att såväl reaktortanken som inneslutningsbyggnaden kommer att genombrytas. Osäkerhet råder om hur stor del av härdens innehåll som därvid frigörs till omgivningen.

De snabbaste och största utsläppen skulle erhållas om s. k. ångexplosioner inträffade i reaktortank eller inneslutning. Om hett smält material kommer i kontakt med vatten, antas i detta fall att det försätts i så häftig kokning, att ångbildning sker explosions-

---

1) Resteffekten är under det första dygnet efter avställningen ca 1 % av full effekt, dvs. 30 termiska MW för en reaktor med 1 000 MW elektrisk effekt. Den sjunker sedan långsamt.

artat och med sådan styrka att reaktortanken sprängs sönder. Utkastade fragment kan därvid genombryta inneslutningen. Sådana genombrott kan inträffa inom två till tre timmar efter primärhändelsen, t. ex. ett rörbrott.
Om reaktortanken ej skadas genom en ångexplosion kommer den att genombrytas av den heta smältan när väggmaterialet uppnått ca 1 300°C. Tiden för tankgenombrott kan uppskattas till omkring en timme.

Inom en tidsrymd av något dygn är reaktorinneslutningen sannolikt genombruten, så att radioaktiva ämnen kan tänkas spridas i omgivningen.

De mest svårartade av de ovan beskrivna händelseförloppen, torde vara de ur omgivningens synpunkt allra svåraste som är fysikaliskt möjliga. De utgör därigenom en övre gräns för alla olyckor i en reaktoranläggning.

Förloppen vid genombrytning av reaktortanken och inneslutningen är av naturliga skäl svåra att förutse. Till osäkerheten bidrar att kunskaperna om s. k. ångexplosioner och reaktioner mellan en smält härd och betong är ofullständiga. I WASH-1400 har antagits att varje härdsmältning leder till någon form av genombrytning av inneslutningen. Osäkerheten om förloppen innebär en osäkerhet i uppskattningen av sannolikheten för olika typer av skador på inneslutningen och därmed en osäkerhet om sannolikheten för olika utsläppstyper.

3.4.4.2 Utsläppskategorier

I den analys av tänkbara svåra haveriförlopp som gjordes i WASH-1400 indelades tänkbara utsläpp i kategorier med avseende på innehåll av radioaktivitet, energiinnehåll och utsläppshöjd.

De nio kategorierna för tryckvattenreaktorer (PWR) och de fem kategorierna för kokarreaktorer (BWR) kan beskrivas enligt följande:

Tryckvattenreaktorer:

PWR 1 - Härdsmälta som åstadkommer ångexplosion och därigenom tankbrott och brott på inneslutningen.
Stora mängder radioaktiva ämnen släpps ut till omgivningen.

PWR 2 - Härdsmälta med åtföljande tankbrott.
Reningssystemen för radioaktivt utsläpp

fungerar ej.
Ungefär samma utsläpp som i PWR 1.

PWR 3 - Förlopp liknande dem i PWR 1 och PWR 2, men med reningssystemen delvis i funktion. Måttligt stora utsläpp.

PWR 4 - Fall av härdsmälta där inneslutningen inte är helt isolerad. Reningssystemen för radioaktivt utsläpp fungerar inte. Väsentligt mindre utsläpp.

PWR 5 - Som PWR 4 men med reningssystemen i funktion.

PWR 6 - Härdsmälta där den smälta härden tränger igenom inneslutningens botten, men inneslutningen i övrigt förblir intakt. Reningssystemen fungerar inte.

PWR 7 - Som PWR 6 men med fungerande reningssystem.

PWR 8 - Utsläpp av radioaktivitet då kapsel brustit. Inneslutningens isolering fungerar ej tillfredsställande.

PWR 9 - Som PWR 8, men med fungerande isolering.

Kokarreaktorer:

BWR 1 - Härdsmälta som åstadkommer ångexplosion med tankbrott och brott på inneslutningen. Omfattande utsläpp.

BWR 2 - Härdsmälta efter brott på reaktorinneslutningen. Den frigjorda aktiviteten deponeras i begränsad omfattning inom anläggningen. Utsläppet sker direkt till atmosfären.
Omfattande utsläpp.

BWR 3 - Som BWR 2 men utsläppet sker genom reaktorbyggnaden varför utsläppet blir mindre än i BWR 2.

BWR 4 - Otillräcklig isolering av inneslutningen. Reducerat utsläpp.

BWR 5 - Utsläpp då kapsel brustit.
Litet utsläpp genom skorsten.

Den i WASH-1400 beräknade sannolikheten för att de olika haverikategorierna skall inträffa under ett reaktorår redovisas i tabell 3.5.

Tabell 3.5 Sammanställning av utsläppsdata enligt WASH-1400

Utsläpps-kategori	Sannolikhet per reaktor-år	Tidpunkt för utsläpp (tim.)	Utsläppets utsträckning i tiden (tim.)	Förvarnings-tid för ut-rymning (tim.)	Utsläpps-höjd (m)	Utsläppets värme-effekt 10^6Btu/tim[b)]
PWR 1	$9 \cdot 10^{-7}$	2,5	0,5	1,0	25	520[a)]
PWR 2	$8 \cdot 10^{-6}$	2,5	0,5	1,0	0	170
PWR 3	$4 \cdot 10^{-6}$	5,0	1,5	2,0	0	6
PWR 4	$5 \cdot 10^{-7}$	2,0	3,0	2,0	0	1
PWR 5	$7 \cdot 10^{-7}$	2,0	4,0	1,0	0	0,3
PWR 6	$6 \cdot 10^{-6}$	12,0	10,0	1,0	0	N/A
PWR 7	$4 \cdot 10^{-5}$	10,0	10,0	1,0	0	N/A
PWR 8	$4 \cdot 10^{-5}$	0,5	0,5	N/A	0	N/A
PWR 9	$4 \cdot 10^{-4}$	0,5	0,5	N/A	0	N/A
EWR 1	$1 \cdot 10^{-6}$	2,0	2,0	1,5	25	130
BWR 2	$6 \cdot 10^{-6}$	30,0	3,0	2,0	0	30
BWR 3	$2 \cdot 10^{-5}$	30,0	3,0	2,0	25	20
BWR 4	$2 \cdot 10^{-6}$	5,0	2,0	2,0	25	N/A
BWR 5	$1 \cdot 10^{-4}$	3,5	5,0	N/A	150	N/A

a) En lägre värmeeffekt än detta värde gäller under en del av utsläppstiden.
Inverkan av lägre värmeeffekt på de beräknade konsekvenserna diskuteras i App. VI i WASH-1400

b) 1 MBtu = 0,293 MWh

N/A = ej tillgänglig uppgift

3.4.4.3 Uppskattning av sannolikheten för härdsmältning med hjälp av drifterfarenheter

En uppskattning av sannolikheten för härdsmältning kan antingen göras på grundval av drifterfarenhet eller med hjälp av en teoretisk analys av olika tänkbara olycksförlopp. I detta avsnitt diskuteras vilka slutsatser som kan dras ur tillgänglig drifterfarenhet medan teoretiska uppskattningar diskuteras i avsnitt 3.4.4.4.

Det erfarenhetsmaterial som finns tillgängligt är omfattande men ändå inte tillräckligt för genomförande av alla de analyser som vore önskvärda. Det kan konstateras att ett stort antal kommersiella, elkraftproducerande kärnkraftaggregat tillsammans har gått ett stort antal driftår utan allvarliga haverier ledande till stora radioaktiva utsläpp. Å andra sidan är drifterfarenheterna ännu inte så omfattande att signifikanta statistiska slutsatser kan dras om säkerheten hos många av kärnkraftverkens delfunktioner. Händelser eller kedjor av händelser som hittills aldrig har inträffat måste beaktas därför att de skulle potentiellt kunna ge stora konsekvenser.

Den mycket omtalade branden i det amerikanska kärnkraftverket i Brown's Ferry i mars 1975 var ett exempel på en händelse som ledde till att en stor del av den säkerhetsutrustning som skulle fungera i samband med händelsen sattes ur funktion. Förloppet var ett exempel på gemensamt fel (common mode failure), dvs. flera redundanta enheter eller delsystem i ett säkerhetssystem sattes ur funktion av samma orsak, nämligen branden. En anledning till att branden i Brown's Ferry fick det förlopp den fick var brister i separation mellan system som skulle fungera oberoende av varandra. Med de separationskrav som gäller för svenska kärnkraftaggregat är det osannolikt att en brand kan få samma effekter som i Brown's Ferry.

För svensk del måste erfarenheterna som erhållits vid driften av de svenska kärnkraftverken studeras i första hand. Eftersom fem av de sex aggregat som i dag är i drift i landet är tillverkade av Asea-Atom AB, är erfarenheterna från dessa av särskilt intresse.

En svårighet vid bedömningen är emellertid att de svenska reaktorerna än så länge inte har någon sammanlagd längre drifttid jämfört med de utländska. T. o. m. år 1977 hade dagens svenska kärnkraftaggregat en sammanlagd tid i kommersiell drift på bara tretton år.

Det är därför nödvändigt att vid analysen av drifterfarenheterna lägga stor vikt vid det material som finns från andra länder. Det är främst USA och Västtyskland och i viss utsträckning Japan som har omfattande drifterfarenhet av reaktorer av samma typ som de svenska.

Underlaget uppgår f.n. i västvärlden till ca 600 reaktorår för lättvattenreaktorer med installerad elektrisk effekt överstigande 100 MW av vilka flertalet tagits i drift under de senaste 10 åren.

De 600 reaktorårens drifterfarenhet utan härdsmälta ger möjlighet till en grov uppskattning av ett konfidensintervall för sannolikheten för härdsmälta per reaktorår. Med en förenklad modell, där haverierna antas inträffa oberoende varje år med en viss sannolikhet, blir konfidensintervallet för 95% konfidens[1]) från 0 till 3 per antalet reaktorår. Med 600 års drift utan härdsmältning skulle man alltså med stor säkerhet kunna uppskatta sannolikheten för härdsmältning till mindre än en gång på 200 driftår. Bl.a. på grund av olikheter i konstruktion mellan olika anläggningar och möjlig inverkan på haverisannolikheten av reaktorernas modernitet och ålder måste emellertid uppskattningar baserade på en sådan förenklad modell användas med stor försiktighet. Sannolikheten påverkas också av de successiva förbättringar som görs på grundval av vunna drifterfarenheter.

I den s.k. Ford-MITRE-studien gjordes en uppskattning av ovan nämnt slag för att ange en övre gräns för härdsmältningssannolikheten. Den övre gränsen uppskattades där (utan hänsyn till konfidensgränser) som en per antalet reaktorår vilket med 600 driftår utan härdsmältning skulle ge en övre gräns för härdsmältningssannolikheten av en gång på 600 driftår.

Uppskattningar av detta slag är främst av intresse då användning av dessa höga sannolikhetsvärden inte påverkar slutsatserna och för kontroll av rimligheten i resultaten av teoretiska uppskattningar av sannolikheten för härdsmältning. De ger en hög övre gräns för sannolikheten. Det är därför motiverat att försöka beräkna sannolikheten på andra sätt. I det följande avsnittet diskuteras därför teoretiska uppskattningar av sannolikheten för härdsmälta.

---

1) Detta innebär att chansen är 95% att den verkliga sannolikheten ligger i det angivna intervallet.

3.4.4.4 Teoretiska uppskattningar av sannolikheten för härdsmältning

Som framgått av föregående avsnitt leder en uppskattning av sannolikheten för härdsmältning ur erfarenhetsdata till ett mycket stort osäkerhetsområde. Den ger inte heller med nu tillgängligt underlag mycket ledning för bedömning av vilka åtgärder som kan vidtagas för att öka säkerheten. Åtminstone från den senare synpunkten kan teoretiska analyser vara av stort värde.

Den mest omfattande teoretiska studie av olika haveriförlopp i kärnkraftverk som finns tillgänglig är WASH-1400. Den är det första genomarbetade försöket att göra en systematisk riskbedömning av kokar- och tryckvattenreaktorer av typer som används i USA. Studien har rönt stor uppmärksamhet och ger värdefulla bidrag till förståelsen av lättvattenreaktorers säkerhet.

I analysen utgick man från två specifika kärnkraftverk i USA, en kokarreaktor (Peach Bottom) och en tryckvattenreaktor (Surry). De uppskattade haverisannolikheterna gäller endast för dessa två reaktorer. Andra reaktorer har andra typer av komponenter och andra systemutformningar och därmed andra haverisannolikheter. Nästan alla lättvattenreaktorer av de båda typerna är emellertid konstruerade och byggda under likartade säkerhetsnormer, varför resultaten i WASH-1400 i stort sett torde kunna tillämpas för andra kärnkraftstationer av samma slag.

Det bör dock framhållas att studien av sina författare endast ansågs vara giltig i fem år. Anledningen härtill är att reaktorkonstruktionerna säkerhetsmässigt förbättras i nya anläggningar och att förbättringar även görs i gamla anläggningar på grundval av vunna drifterfarenheter.

Såväl använt beräkningsunderlag som beräkningsmetoderna och sättet att presentera resultaten har emellertid också utsatts för kritik. En allmän uppfattning bland kritikerna tycks vara att konsekvenserna har underskattats och att osäkerheten i uppskattningarna är större än vad som angivits i rapporten.

Rapporten utgavs först som preliminärutgåva år 1974 och en del av den kritik som framfördes mot denna ledde till modifieringar i den slutliga utgåvan. Kritik som inte har beaktats diskuteras i ett extra appendix XI till den slutliga rapporten. En del kritiker menar emellertid fortfarande att osäkerheten i sannolikhetsuppskattningarna har underskattats i WASH-1400. Statens kärnkraftinspektion säger

t.ex. i sammanfattningen till sin haveristudie för Barsebäck (se not sid. 72).

"WASH-1400 har väckt stort intresse och blivit föremål för ingående granskning av olika institutioner och sammanslutningar inom och utom USA. Kritik har riktats mot enskildheter i det omfattande tekniska materialet och i synnerhet mot de presenterade slutsatserna i arbetet. Framför allt har kritikerna hävdat att det inte är principiellt möjligt att för så komplexa anläggningar som kärnkraftverk beräkna den sammanlagda sannolikheten för haverier med sådan precision som gjorts i rapporten. Denna uppfattning delas av kärnkraftinspektionen. Studier av denna art torde endast kunna bli en vägledning för en bedömning av den totala säkerheten".

En grundläggande punkt i kritiken mot beräkningsmetodiken i WASH-1400 är att okända eller icke misstänkta mekanismer för fel inte kan tas med i analysen. Bl. a. har man i WASH-1400 uttryckligen avstått från att riskbedöma sannolikheten för sabotage. Vidare är de slutliga resultaten beroende av tilldelade sannolikheter för de händelser som leder fram till ett utsläpp. Dessa kan i några fall baseras på erfarenhet, i andra fall måste de göras till föremål för något slags bedömning. Sannolikheterna för olika händelser är inte heller oberoende av varandra. S. k. gemensamma fel (common mode failures) kan påverka sannolikheten för en viss händelse. Även sådana fel har behandlats i WASH-1400.

Enligt WASH-1400 kan sannolikheten för härdsmältning uppskattas till en gång på 17 000 reaktorår för tryckvattenreaktorer och en gång på 33 000 reaktorår för kokarreaktorer. Genomsnittsvärdet anges till en gång på 20 000 reaktorår. Det framhålls att sannolikheten "nästan säkert inte överstiger" en gång på 3 300 reaktorår[1].

För att belysa inverkan av konstruktionsskillnader mellan kokarreaktoranläggningar i USA och Sverige och betydelsen av den kritik som riktats mot den metodik och de antaganden som utnyttjades i WASH-

---

1) Vid föredragning inför energikommissionen 1978-04-28 uppgav prof. Rasmussen att den granskningsgrupp som med uppdrag från Nuclear Regulatory Commission i USA nu gör en förnyad granskning av Rasmussen-utredningen möjligen kommer att ange ett dubbelt så stort osäkerhetsområde, dvs. ungefär en faktor 10.

1400 är de mer begränsande teoretiska studier som statens kärnkraftinspektion har låtit utföra för Barsebäck[1] och kommissionens expertgrupp för säkerhet och miljö låtit utföra för Barsebäck[2] och Forsmark[3], av stort värde. Den av Norinder[1] utförda studien för Barsebäck och av Asea-Atom AB utförda studien för Forsmark bygger på metodik och databas enligt WASH-1400 medan MHB Technical Associates m. fl. som utfört den andra studien för Barsebäck utnyttjat en modifierad databas och metodik.

Som framgår av figur 3.2 har MHB-studien givit en sannolikhet för härdsmältning som är högre än vad WASH-1400 gav för kokarreaktorer och högre än vad Norinder erhöll för Barsebäck. Asea-Atom AB:s studie av Forsmark gav den lägsta sannolikheten för härdsmältning.

När det gäller skillnaden mellan de två Barsebäcksstudierna, vilken är en faktor 4,3, är det väsentligt att konstatera att en del av skillnaden (en faktor 2) beror på att MHB använt en annan beräkningsmetodik. Resten av skillnaden beror främst på följande avvikelser.

- MHB har använt en modifierad databas för uppskattning av sannolikheten för rörbrott medan Norinder använt samma värde som i WASH-1400.

- MHB har uppskattat sannolikheten för bristande effektivitet hos nödkylningen till 1/100 medan Norinder använt samma värde som i WASH-1400, nämligen 1/3333.

- MHB har med utgångspunkt från driftstatistik för Barsebäck antagit frekvensen av händelser som kräver avställning till 20 per år medan Norinder använt samma värde som i WASH-1400, nämligen 10 per år.

Framför allt med hänsyn till det stora osäkerhetsintervall som gäller för dessa uppskattningar måste en faktor 2 i skillnad mellan olika uppskattningarna

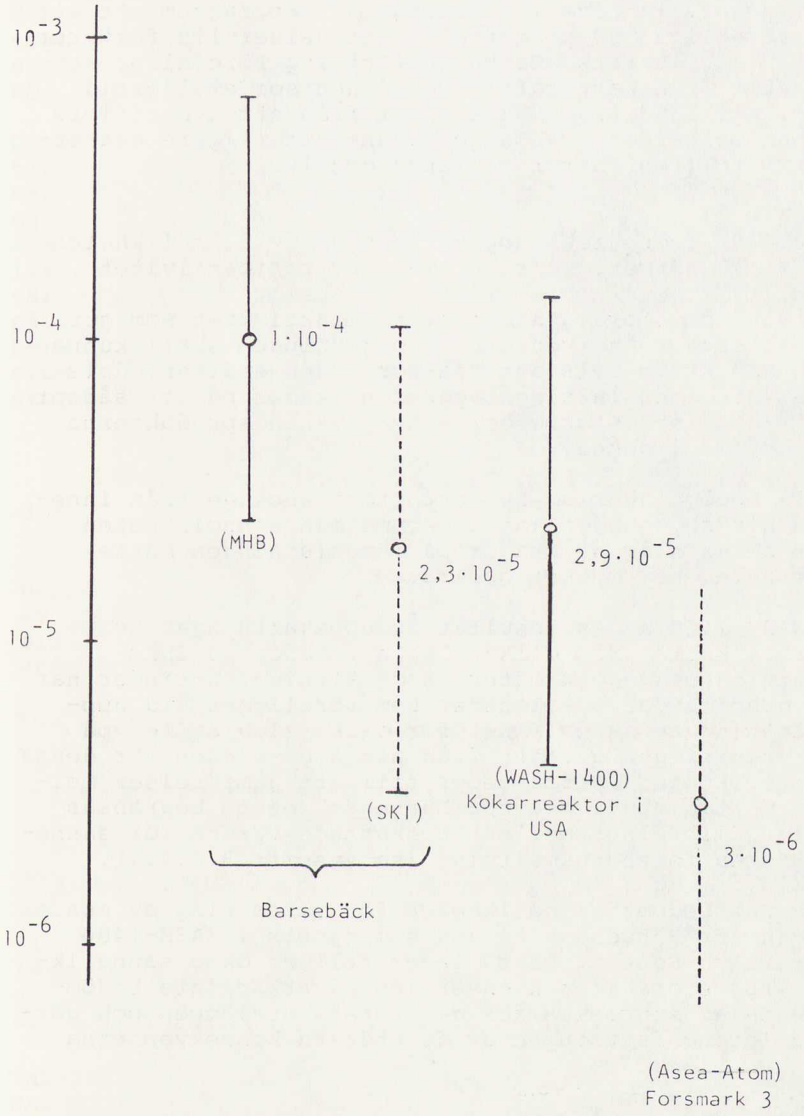
---

1) Statens kärnkraftinspektion: Haveristudie av Barsebäck 2, 1978.
Norinder, O: Haveristudie av Barsebäck 2, Studsvik Report SM 78/1, 1978.

2) MHB Technical Associates: Swedish Reactor Safety Study, Ds I 1978:1.

3) Asea-Atom AB: Säkerhetsstudie Forsmark 3, Ds I 1978:3.

Figur 3.2 Sannolikhet för härdsmälta



Anm.

Värdet enligt WASH-1400 avser kokarreaktorer. För Forsmark 3 har ej uppskattats något osäkerhetsintervall. Så har ej heller gjorts i SKI:s studie för Barsebäck men inspektionen synes ansluta sig till bedömningarna härvidlag i WASH-1400.

betraktas som mycket liten och i sammanhanget oväsentlig. MHB framhåller att utöver det matematiskt beräknade osäkerhetsintervallet som anges i figur 3.2 måste ett osäkerhetsintervall tillkomma såväl uppåt som nedåt. Intervallet orsakas av det faktum att ett antal enligt MHB potentiellt betydelsefulla faktorer inte har beaktats. Denna uppfattning förefaller att ha stöd från kärnkraftinspektionen som emellertid till skillnad från MHB avstått från att kvantifiera denna osäkerhet. MHB anger denna ytterligare osäkerhet[1] till en faktor mellan 3 och 10.

3.4.4.5 Teoretiska uppskattningar av sannolikheten för ett stort utsläpp av radioaktivitet

För att de stora utsläpp av radioaktivitet som ger de största konsekvenserna i omgivningen skall kunna äga rum krävs dels att reaktorhärden smälter, dels även att inneslutningsbyggnaden skadas på ett sådant sätt att inte större delen av klyvningsprodukterna innehålls i denna.

Alla bedömningar av hur ett stort läckage från inneslutningsbyggnaden kan uppkomma och sannolikheten för olika slag av skador på inneslutningen måste betraktas som mycket osäkra.

I WASH-1400 anges resultat av uppskattningar av sannolikheter för olika slag av skador på inneslutningsbyggnaden efter härdsmältning. Norinder har på grund av de svårigheter som föreligger vid uppskattning av sannolikhet för olika slag av fel på inneslutningen avstått från att ange värden för dessa sannolikheter. Detta leder till att jämförelser mellan de två studierna för Barsebäck måste begränsas till jämförelser mellan uppskattade värden för sannolikheten för härdsmältning (se avsnitt 3.4.4.4).

MHB har bedömt sannolikheten för vissa slag av skador högre för Barsebäck än vad som gjorts i WASH-1400 för Peach Bottom. Detta leder till en ökad sannolikhet för stora konsekvenser men påverkar inte bedömningen av storleken för de största utsläppen och därmed inte omfattningen av de största konsekvenserna.

---

1) Denna ytterligare osäkerhet beror bl.a. på att härdsmältning också kan orsakas av sabotage. Sannolikheten för att ett sådant sabotage skall inträffa och lyckas har inte uppskattats av MBH eller i WASH-1400. Frågan diskuteras översiktligt i 3.4.10.

Skillnaden i uppskattade sannolikheter för de största utsläppen (utsläppskategori BWR 1 och BWR 2, se avsnitt 3.4.4.2) efter en härdsmältning är en faktor 3,4 mellan WASH-1400 och MHB. I Ford-MITRE-studien, där en pessimistisk uppskattning eftersträvades, antogs utan närmare motivering sannolikheten för ett stort utsläpp efter härdsmältning vara dubbelt så hög som enligt WASH-1400.

De försök till kvantifiering av inverkan av konstruktionsskillnader mellan de två anläggningarna som MHB har gjort kan diskuteras liksom det antagande som gjorts i Ford-MITRE-studien. Av särskild betydelse att konstatera är dock att risken för haverier är liten och att osäkerheten i alla de använda absolutvärdena för sannolikheter för olika slag av skada på inneslutningen är stor. Väsentligt är vidare att beräkningarna antyder osäkerhetsintervallen och storleksordningen vad gäller sannolikheten för ett stort haveri.

3.4.5 Konsekvenser av ett stort utsläpp av radioaktivitet

Beräkningar av konsekvenserna av ett stort utsläpp av radioaktivitet grundas på beräkningar av det utsläppta radioaktiva molnets rörelse, spridning och utfällning av radioaktiva ämnen på marken.

För att räkna fram en sannolikhetsfördelning för konsekvenserna måste man ta hänsyn till sannolikheten för olika slag av utsläpp men även till väderstatistik för området kring den aktuella förläggningsplatsen (bl. a. vindriktning, vindstyrka och nederbörd) och befolkningsfördelning i omgivningen. Man måste också beakta möjligheterna att minska stråldoserna genom att utnyttja byggnader som skydd och evakuering av befolkningen. Det är givet att flera av dessa faktorer varierar mellan olika förläggningsplatser och att det därför är svårt att dra generella slutsatser beträffande möjliga konsekvenser av ett stort utsläpp.

Tabell 3.6 visar en sammanfattning av resultaten i WASH-1400 i fråga om olika slag av konsekvenser vid minskande sannolikhet. Enligt tabellen skulle endast 2 % av alla härdsmältningar ge mer än något enstaka akut dödsfall och totalt mer än ca 5 000 cancerfall[1]. Den allvarligaste konsekvensen av de flesta härdsmältningar förefaller vara de stora ytor som beläggs med radioaktivitet.

---

1) Detta förutsätter dock evakuering.

Tabell 3.6 Uppskattade konsekvenser av stora reaktorhaverier med olika sannolikheter för en reaktor enligt WASH-1400

Sannolikhet per reaktorår för att angivna konsekvenser skall överskridas[f]	Sannolikhet per härdsmältning för att angivna konsekvenser skall överskridas	Akuta dödsfall[d]	Akuta sjukdomsfall	Sena dödsfall per år[b] (i cancer)[e]	Evakueringsområde km^2 [c]	Område som skall dekontamineras km^2 [c]
En på 20 000[a]	1	<1	<1	<1	0,3	0,3
En på 1 000 000	0,02	<1	300	170	360	5 200
En på 10 000 000	0,002	110	3 000	460	640	8 300
En på 100 000 000	0,0002	900	14 000	860	740	8 300
En på 1 000 000 000	0,00002	3 300	45 000	1 500	740	8 300

a Medianvärdet av uppskattad sannolikhet för härdsmälta.

b Denna dödsfallsfrekvens kan uppträda under en period av 10 till 40 år efter haveriet. För att erhålla totalt antal dödsfall skall siffrorna multipliceras med 30. Normal dödsfallsfrekvens i cancer för den befolkningsgrupp som berörs av risken är ca 17 000 per år.

c Ytorna för evakueringsområde och område som skall dekontamineras baseras på en acceptabel nivå för kontinuerlig vistelse på 25 rem under 30 år i stadsbebyggelse och 10 rem under 30 år på landsbygd. Osäkerhetsfaktorn för angivna ytor är en faktor 1/5 till 2.

d Osäkerhetsfaktorer är 1/4 till 4.

e Osäkerhetsfaktorer är 1/6 till 3.

f Osäkerhetsfaktorer är 1/5 till 5.

När det gäller svenska förläggningsplatser finns underlag för en bedömning av konsekvenserna endast för Barsebäck och i det fallet huvudsakligen endast i form av underlag som har sammanställts av MHB med hjälp av beräkningar utförda av Beyea[1].

Vissa beräkningar av doser, hälsoeffekter och markbeläggning vid stora utsläpp från Barsebäck har också utförts vid AB Atomenergi av Edlund och Gyllander[2]. Dosberäkningar vid vind mot Köpenhamn har utförts av Forsögsanlaeg Risö[3].

De uppskattningar av konsekvenser av en olycka i Barsebäck som utförts av Beyea är svåra att jämföra med de beräkningar som utförts av AB Atomenergi och Risö. Detta sammanhänger dels med beräkningsmodellernas olika uppbyggnad, dels med att olika antaganden gjorts beträffande befolkningens uppehållstid i området.

Det förefaller emellertid som om studierna inte skulle ge stora skillnader i fråga om sena hälsoeffekter. När det gäller markbeläggning är skillnaden större. Ytterligare beräkningar för att bredda jämförelsematerialet förefaller angelägna men har ej kunnat genomföras under den tid som har stått till förfogande.

När det gäller risken för akuta dödsfall på avstånd över ca 20 km ger de olika studierna för Barsebäck mycket olika resultat. Beräkningar redovisade av Edlund och Gyllander samt av Risö tyder på att inga akuta dödsfall kan erhållas på detta avstånd. Enligt Beyea finns viss risk för akuta dödsfall om evakuering inom sex timmar inte kan genomföras. Beyeas slutsats har häri stöd i WASH-1400.

Det förefaller klart att bedömningen av storleken av osäkerhetsområdet för främst med vilken hastighet det radioaktiva utsläppet deponeras på marken har stor

---

1) Beyea, J: A study of Some of the Consequences of Hypothetical Reactor Accidents at Barsebäck, Ds I 1978:5.

2) Edlund O, Gyllander C: Hs-77 Haveristudie Barsebäck, Studsvik Report SM 78/5, 1978.

3) Risö National Laboratory: Calculation of the Individual and Population Doses on Danish Teritory resulting from Hypothetical Core-melt Accidents at the Barsebäck Reactor, Risö Report No. 356, 1977.

betydelse för avgörandet av vilken metod som leder till de rimligaste riskuppskattningarna. Det samma gäller för hur högt det radioaktiva utsläppet når (plymlyftet) vid en olycka.

Beyea har för depositionshastigheten utgått från det osäkerhetsområde som angivits i WASH-1400 medan AB Atomenergi valt att räkna med ett värde som man funnit rimligt. Risö har använt det medelvärde för depositionshastighet som har rekommenderats i WASH-1400.

AB Atomenergi har för expertgruppen för säkerhet och miljö presenterat resultat av nyligen utförda beräkningar som skulle indikera att den depositionshastighet som WASH-1400 angivit som troligt värde i själva verket skulle vara en övre gräns vid den vädertyp under vilken de största konsekvenserna erhålls. Beräkningar utförda av Beyea indikerar att hänsynstagande till AB Atomenergis beräkningar skulle leda till en minskning av det beräknade antalet akuta dödsfall med en faktor 2.

Resultaten av gjorda beräkningar av konsekvenserna vid härdsmältning enligt Beyea och WASH-1400 jämförs i tabell 3.7.

Av tabellen framgår att vid maximalt ogynnsamma omständigheter kan ett stort antal dödsfall inträffa samt att stora befolkningsgrupper kan drabbas av akuta skador i form av bl. a. strålsjuka. Vidare kan aborter behöva vidtagas. Härutöver tillkommer sena dödsfall och skador, vilka kan inträffa under lång tid efter ett reaktorhaveri. Utöver de i tabellen redovisade beräkningarna kan tillkomma bl. a. sociala konsekvenser i samband med evakuering av befolkningen inom berörda områden.

Tabell 3.8 visar olika uppskattningar av storleken på de markområden som beläggs med radioaktivitet. För kriteriet 10 rem på 30 år förefaller det enligt expertgruppen för säkerhet och miljö inte orimligt att räkna med ca 700 km^2 per härdsmälta. Med utgångspunkt från resultat enligt WASH-1400 och Edlund och Gyllander förefaller dessa värden valda i övre delen av konfidensområdet medan de ligger vid undre gränsen i Beyeas konfidensområde.

Skillnaden i resultat mellan Beyea och de övriga studierna torde delvis kunna förklaras med att Beyea inte tillgodoräknat naturlig omblandning av radioaktivitet i de övre jordlagren vilket de andra studierna har gjort. Det bör noteras att Beyea liksom Edlund och Gyllander endast utfört beräkningar för ett fåtal fall. De värden som har angivits som medelvärden i tabell 3.8 skulle därför kunna behöva justeras om mer omfattande beräkningar utfördes.

Tabell 3.7 Hälsoeffekter efter härdsmältning

	Antal fall per härdsmältning		Antal fall per reaktorår		"Maximal" konsekvens antal fall		
	WASH-1400 BWR USA	Beyea Barse-bäck 24 tim	WASH-1400 BWR USA	Beyea Barse-bäck	WASH-1400 BWR USA	Beyea Barse-bäck 24 tim	Edlund Gyllander Barsebäck Worst Case
Akuta dödsfall	1	6	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$	$64 \cdot 10^{-5}$	3 300	10 000	mindre än 100
Akuta skador:							
Strålsjuka					30 000		
Temporär sterilitet, män					250 000		
Menstruations-rubbningar					40 000-100 000		
Aborter (spontana)					300		
Sena dödsfall och skador	~3 500	~3 300	~0,08	~0,33	~40 000[a]	~25 000[a]	

[a] Över en 30-års period.

Tabell 3.8 Markbeläggning med radioaktivitet efter härdsmältning

Källa	WASH-1400 kriterier 25 rem/30 år stad, 10 rem/30 år land		
	Max.yta km^2	Medelyta per härdsmälta km^2	Medelyta per reaktorår km^2
WASH-1400	8 300	670	0,001-0,3[a]
Beyea	[24 000][b]	[10 000][b]	[0,1 - 10][b,c]
Edlund och Gyllander	[5 600][b]	[700][b]	[0,002 - 0,2][b,d]

[a] med hänsyn till osäkerhetsområdet angivet i WASH-1400

[b] gäller för landsbygdskriteriet 10 rem/30 år

[c] med härdsmältningssannolikhet 10^{-4}/år och en osäkerhetsfaktor på 10.

[d] med härdsmältningssannolikhet $2{,}4 \cdot 10^{-5}$ och en osäkerhetsfaktor på 10.

Not:
Medianvärdet för den med radioaktivitet belagda ytan enligt WASH-1400 ligger vid ca 7,5 km^2, vilket innebär att hälften av alla härdsmältningar skulle ge en mindre belagd yta och hälften en större yta. Ca 1/3 av alla härdsmältningar skulle ge markbeläggning över 300 km^2 och 1/6 en markbeläggning över 1 300 km^2.

3.4.6 Beredskap

Resp. länsstyrelse[1] har i enlighet med lagen om skyddsåtgärder vid olyckor i atomanläggningar upprättat en organisationsplan för skydd av allmänheten mot radioaktivitet i samband med en olycka. Planen avser de åtgärder som i första hand brand- och polismyndigheter skall vidta vid larm om olycka. Länsstyrelsens plan samordnas med den beredskapsplan som anläggningsägaren enligt villkor från kärnkraftinspektionen skall upprätta för åtgärder inom anläggningen.

Statens strålskyddsinstitut har till uppgift att ge råd och anvisningar till länsstyrelserna. Strålskyddsinstitutet svarar också för beredskapsnämnden mot atomolyckor, i vilken också ingår representanter för kärnkraftsinspektionen och andra experter. En olycka i ett kärnkraftverk skall rapporteras till strålskyddsinstitutet, varvid en "akutgrupp" inom beredskapsnämnden omedelbart sammankallas för att bistå länsstyrelsen och kraftverket.

Vid AB Atomenergi i Studsvik finns en beredskapsstyrka som dygnet runt kan transporteras med helikopter till en olycksplats för att göra indikerings- och saneringsarbete.

Länsstyrelsen och kraftverkets beredskapsorganisation övas i samverkan med berörda myndigheter. Utrymningsplaner finns för befolkningen i kraftverkens omedelbara närhet (inom ca 5 km från anläggningen).

Frågan om utrymning diskuteras bl. a. i en rapport från kärnkraftinspektionen och strålskyddsinstitutet[2].

Av denna framgår att man anser att evakuering av befolkningen bör kunna ske inom varje sektor på 60° ut till 5 km inom 6 timmar och ut till 10 km inom ett dygn. Det framgår också att civilförsvarsstyrelsen anser att en förutsättning för att detta skall kunna klaras är att det finns en genomarbetad beredskapsplanläggning.

---

1) I Uppsala, Sörmlands, Kalmar, Hallands och Malmöhus län.

2) Statens planverk: Användning av marken kring kärnkraftverk, Rapport 42, 1977.

För att bedöma relevansen i de uppskattningar som har gjorts av möjliga konsekvenser av en reaktorolycka är det av intresse att jämföra gjorda antaganden i de olika studierna med den planering som svenska myndigheter har gjort.

I WASH-1400 förutsätts en snabb evakuering av befolkningen inom ett område runt reaktorn med 8 km radie och inom en 45° sektor ut till 40 km radie. Evakueringen antas ske så snabbt att markdosen i området endast beräknas under 4 timmar. Denna evakueringsmodell förefaller enligt expertgruppen för säkerhet och miljö ej realistisk med avseende på den nuvarande svenska beredskapsplaneringen.

Beyea redovisar beräkningar för uppehållstiden 6 timmar, 24 timmar och 7 dygn i området ut till 50 km, där det senaste fallet är medtaget för att illustrera konsekvenserna av om ingen evakuering genomförs. Edlund och Gyllander har räknat med 4 timmars resp. 24 timmars markdos.

Med hänsyn till att beredskapsplaneringen för Barsebäck endast tycks gälla området ut till 10 km avstånd förefaller det enligt expertgruppen inte utan vidare självklart att evakuering till större avstånd inom 24 timmar är genomförbar.

Med hänsyn till att det f. n. inte tycks kunna uteslutas att akuta dödsfall kan erhållas på avstånd över 10 km förefaller det rimligt att studera olika handlingsalternativ för att minska konsekvenserna i området 10-40 km. Evakuering är en möjlighet, förflyttning till skyddade platser i byggnader med hög skärmningsfaktor är en annan.

3.4.7 Bergförläggning och andra medel att höja reaktorsäkerhetsnivån

3.4.7.1 Allmänt

Om reaktorhärdens bränsle under haveriförhållanden på grund av bristande kylning skulle komma att överhettas och smälta (härdsmältning) kan en stor del av dess innehåll av radioaktiva ämnen komma att spridas till omgivningen.

Möjliga vägar i syfte att förbättra reaktorsäkerhetsnivån kan därför vara att:

1. Begränsa mängden radioaktiva ämnen i härdens bränsle (dvs. begränsa den termiska effekten och utbränningen).

2. Ytterligare säkra härdens kylning under haveriförhållanden så att smältning undgås.

3. Begränsa spridningen till omgivningen av radioaktiva ämnen från den smälta härden.

När det gäller kärnvärmeverk där primära kylkretsen arbetar vid förhållandevis låga tryck och temperaturer kan båda de förstnämnda vägarna tillämpas. När det gäller kärnkraftverk i övrigt kan i princip den första vägen att begränsa reaktorstorleken tillämpas.

Den tredje vägen att begränsa den mängd radioaktiva ämnen som vid haveriförhållanden kan spridas till omgivningen innebär att på olika sätt förbättra inneslutningen av radioaktiviteten.

I en granskning av WASH-1400 föreslår amerikanska fysikersällskapet att man överväger möjligheten att genom avblåsning av övertryck kombinerad med bortfiltrering av radioaktivitet ur de avblåsta gaserna begränsa utsläppet samtidigt som man förhindrar att inneslutningskärlet sprängs av inre övertryck.

På många håll i världen och kanske särskilt i Västtyskland har man lanserat idéen med dubbla inneslutningskärl med möjlighet att från mellanrummet återföra eventuellt läckage till det inre kärlet. Den tyska inneslutningskonstruktionen (för tryckvattenreaktorer, PWR) har formen av ett inre klotformigt stålkärl omgivet av ett tjockt (1 meter) betongskal. Betongskalet görs starkt nog att motstå t. ex. vissa typer av störtande flygplan (yttre missiler) och blir då samtidigt motståndskraftigt mot brottstycken av rör eller ventiler, som inifrån vid haveri kan komma att slungas mot detsamma (inre missiler).

Från den senare synpunkten är det viktigt hur man ur säkerhetssynpunkt betraktar möjligheten att reaktortanken (och andra stora tryckkärl i PWR) plötsligt kan brista och kasta brottstycken mot inneslutningskärlet. I en tysk konstruktionsstudie för en närförlagd reaktor har man beaktat möjligheten att omge reaktortanken med en betongkonstruktion, som uppfångar brottstycken om tryckkärlet plötsligt brister. En annan möjlighet, som studeras i Norden, är att utföra hela tryckkärlet av förspänd betong.

Den svenska traditionen och kunnandet inom bergsprängningstekniken har lett till att man i Sverige främst studerat möjligheten att uppnå skydd mot inre och yttre missiler (även krigsskydd) samt begränsning av haveriutsläpp genom att förlägga kärnkraftverket i bergrum.

3.4.7.2 Bergförläggning

Den första svenska forskningsreaktorn (R 1) färdigställdes år 1954 i ett bergrum vid tekniska högskolan i Stockholm. Den första svenska prototypen för ett kärnkraftvärmeverk byggdes i ett bergrum i Ågesta, söder om Farsta, och försåg denna stadsdel med fjärrvärme under de år (1964-1974) den var i drift.

Intresset för bergförläggning av kärnkraftverk i Sverige har kvarstått av krigsskyddsskäl och reaktorsäkerhetsskäl. För att trygga södra Sveriges elförsörjning under avspärrning och krig har överbefälhavaren låtit verkställa en utredning om den tekniska möjligheten av krigsskyddad placering av ett kärnkraftverk i bergrum jämfört med andra krigsskyddsmöjligheter, t. ex. gropförläggning.

Givet att ett kärnkraftverk placeras i berg av krigsskyddsskäl, vilka fördelar kan då uppnås resp. vilka nackdelar bör då undvikas ur reaktorsäkerhetssynpunkt? En utredning för att besvara denna fråga utfördes inom Centrala driftledningen (CDL) år 1975. Arbetet har därefter förts vidare inom statens vattenfallsverk.

Säkerhetskraven på den bergförlagda kärnkraftstationen är tre:

1. Krigsskydd

2. Den bergförlagda stationen får inte i något väsentligt osäkerhetsavseende vara sämre än en motsvarande station ovan jord

3. De möjligheter till förbättrad säkerhet som berget ger skall i möjligaste mån tillvaratas.

Den av CDL och Vattenfall studerade stationen har en reaktoranläggning av typ Asea-Atoms Forsmark 3, som med minsta möjliga modifieringar förlagts i bergrum.

Anläggningen beskrivs på följande sätt:

Reaktorbyggnaden är placerad i ett bergrum, centrala redundanta hjälpsystem i två separata bergrum på ömse sidor om reaktorrummet och turbinanläggningen i ytterligare ett antal bergrum.

Reaktorbergrummet är konstruerat att motstå påfrestningar från extrema osannolika haverier utan att dess integritet förloras och utan att läckvägar öppnas till andra bergrum eller direkt till markytan.

För att sannolikheten för haverier inte skall öka vid bergförläggning krävs att rutinerna för drift och

underhåll anpassas härtill. Troligen erfordras mer personal eftersom avstånden ökar och nya system tillkommer.

Berget erbjuder bättre möjligheter att skydda omgivningen mot effekterna av extrema osannolika haverier beroende på överhettning av härden.

Bergförläggning medför samtidigt nackdelarna att haverier skulle kunna orsakas av bergras vilket knappast är fallet vid förläggning ovan jord. Risken för översvämning blir större vid bergförläggning under havsnivån om inte speciella åtgärder vidtas. Större svårigheter att behärska bränder och trycksteqringar vid rörbrott finns också för bergförläggning.

Den säkerhetsmässiga värderingen av förläggning i berg jämfört med ovan jord bestäms alltså av den betydelse som dessa olika skillnader sammanvägt tillmäts.

Härdsmältning leder till att stora mängder gasformiga och partikelburna radioaktiva ämnen avges från bränslet. Läckagevägarna för ånga och gaser passerar genom tunnlar fyllda med sten till omgivningen. På grund av den stora volymen av bergrum och tunnel kommer en stor del av aktiviteten att bli kvar i bergrum och tunnel efter tryckutjämning mot atmosfären. För uppskattning av den till atmosfären utläckta radioaktivitetsmängden antas att genom stenbädden passerar ädelgaser och metyljodid, samt 10 % av partikelburen radioaktivitet medan elementär jod blir kvar i stenbädden.

Beräkningar av stråldoser och hälsoeffekter i omgivningen från det på detta sätt uppskattade radioaktivitetsutsläppet antyder att för ett bergförlagt kärnkraftverk beläget nära Stockholm utgör antalet akuta hälsoeffekter ca tiondelen och befolkningsdosen ca hälften av motsvarande värden för ett markförlagt kärnkraftverk beläget i Forsmark.

Möjligheterna att ytterligare minska risken för utsläpp genom vattenbegjutning av stenbädden har påpekats för kommissionen av professor Torbjörn Westermark. Systemet torde även kunna utnyttjas för markförlagd anläggning. En utvärdering av förslaget pågår med ekonomiskt stöd från nämnden för energiproduktionsforskning.

3.4.8 Dekontaminering

Som framgått av avsnitt 3.4.5 kan stora markområden bli belagda med radioaktivitet efter en härdsmältning i ett kärnkraftverk.

Detta kommer att leda till att myndigheterna kommer

att införa restriktioner av olika slag som gäller utnyttjandet av sådana landområden. Hur stora landområden som kan komma att beröras beror på omfattningen av den radioaktiva beläggningen och på vilka gränsvärden för tillåten strålningsnivå som fastställs för olika slag av markutnyttjande.

Enligt WASH-1400 kommer restriktioner för användning av mark för foderproduktion till mjölkkor troligen att sträcka sig längst från anläggningen och därmed beröra de största områdena. Restriktioner mot utnyttjande av mark för odling av säd m. m. kommer att beröra något mindre arealer, medan restriktioner mot vistelse i området kommer att gälla ännu något mindre ytor.

I och med att strålningen avtar på grund av radioaktivt sönderfall och att de radioaktiva ämnena omsätts, kommer restriktionerna gradvis att kunna lättas. För vissa områden kan restriktionerna behöva gälla lång tid (över 10 år) om inte särskilda åtgärder vidtas för dekontaminering. Ett särskilt problem kommer härvidlag den havererade reaktorns kvarvarande radioaktiva innehåll att utgöra.

Dekontaminering kan innebära att de radioaktiva ämnena avlägsnas eller fixeras på platser på ett sådant sätt att strålrisken minskar. Valet av metod beror av sådana faktorer som:

- typen av kontaminerad yta
- den yttre miljö för vilken ytan är utsatt
- möjliga hälsorisker på grund av strålningen
- kostnader
- bieffekter av själva dekontamineringen.

Den erfarenhet som finns beträffande dekontaminering är huvudsakligen tillämplig för radioaktivt utfall från kärnvapen och är endast delvis tillämplig för de fall som är av intresse här. I WASH-1400 har det ansetts att tillgängliga experimentdata inte är tillräckliga för att anta att s.k. våt dekontaminering (dvs. spolning) skall vara effektiv vid de små partiklar som förväntas vid en reaktorolycka. Därför antas endast avlägsnande av den radioaktiva ytan vara aktuell som dekontamineringsmetod.

De dekontamineringsmetoder som antagits tillämpliga i WASH-1400 är:

För hårda ytor (tak, väggar, permanentade vägar m.m)

- utbyte av takbeläggning

- sandblästring av väggar och permanentade vägar
- beläggning av vägar med nytt toppskikt

För landytor (jord, vegetation m.m.)

- avlägsnande av vegetation
- avlägsnande av markens ytskikt och nedgrävning av detta
- djupplöjning (75 cm).

Sjö- och våtmarksytor (diskuteras ej i WASH-1400).

Med dessa metoder anges strålningsintensiteten kunna sänkas till en tjugondel av den ursprungliga.

I brist på detaljerade beräkningar av markbeläggning för olika utsläpp och spridningsbetingelser är det inte möjligt att bilda sig en uppfattning om vad detta konkret skulle innebära för t.ex. utsläpp från Barsebäck.

I WASH-1400 betraktas radioaktiv beläggning av landområden huvudsakligen som ett ekonomiskt problem. Man torde dock få räkna med att negativa sociala och ekologiska effekter eller skador från naturvårdssynpunkt kan visa sig vara ett än allvarligare problem.

3.4.9 Övriga risker för stora olyckor

3.4.9.1 Stort utsläpp av radioaktivitet från kärnvärmeverk

Fjärrvärme för bostads- och lokaluppvärmning till ett samhälle med ca 100 000 invånare kan enligt utredningsprojektet SECURE levereras från en värmereaktor med en termisk effekt av ca 200 MW. Av ekonomiska skäl bör en sådan värmereaktor vara belägen inom ett avstånd av några kilometer från det samhälle den betjänar.

Bland faktorer som innebär att ett kärnvärmeverk av nämnt slag medför mindre risk för omgivningen än ett kärnkraftverk placerat på samma plats kan nämnas:

- Mängden radioaktivitet i bränslet till ett kärnvärmeverk på 200 MW_{th} är ca tiondelen av radioaktivitetsmängden i ett kärnkraftverk på 2 000 - 3 000 MW_{th}.

- Värmereaktorns bränsle avses placeras på botten av en vattenfylld bassäng med stor värmekapacitet. Bränslet skall kylas av bassängvattnet vid avbrott i den normala kylvattencirkulationen. Bränslet kan inte smälta så länge det täcks av bassängvattnet. Bassängens väggar skall vara utformade som ett tryckkärl av förspänd betong. Bassängen skall trycksättas med gas.

- Bassängen skall vara placerad i ett bergrum väl skyddad mot yttre åverkan.

Vid bedömning av säkerhetsegenskaper är det väsentligt att notera att enligt Bento och Mankamo[1] inte ens allvarliga driftstörningar som rörbrott, totalt elbortfall och liknande medför att bränslet blir utan kylning. Reaktorn är så konstruerad att vid nämnda störningar flödar bassängvatten in i bränslehärden och kyler denna.

Bassängens värmekapacitet är stor nog att uppta restvärmen under mer än 24 timmar. Innan kokning uppkommer etableras naturlig värmeöverföring mellan en värmeväxlare i bassängen och ett kyltorn på marken. På detta sätt bortförs restvärmen till atmosfären och bassängtemperaturen begränsas.

I det osannolika fallet att kokning inträffar i bassängen, t. ex. på grund av fel i dess kylsystem, tar det veckor att koka bort vattnet. Under denna långa tid bör det finnas möjlighet att vidta speciella åtgärder för att tillföra vatten till bassängen.

Möjligheten av härdsmältning i värmereaktorn på grund av tekniska fel ter sig därför mycket avlägsen och uppenbarligen avsevärt mindre än för kärnkraftverk. Risker för härdsmältning på grund av sabotage måste bedömas med hänsyn till reaktorns förläggning i bergrum och den långa tid som står till förfogande för att vidta motåtgärder om de yttre kylsystemen skulle saboteras.

En riskstudie[2] som gjorts för närförlagda kärnvärme-

---

1) Bento J-P, Mankamo T: Safety evaluation of the SECURE nuclear district heating plant, FNS-ENS-ANS Topical meeting on low temperature nuclear heat, Otaniemi, Finland, Aug 21-24, 1977

2) Savolainen I, Tarjanne R, Vuori S. Risk assessment of urban sited heating reactors, FNS-ENS-ANS Topical meeting on low temperature nuclear heat, Otaniemi, Finland, Aug 21-24, 1977.

verk tyder på att dessa innebär mindre risker för omgivningen än typiska kärnkraftverk i USA enligt WASH-1400.

Det bör observeras att konstruktionen av kärnvärmeverk inte utsatts för en lika ingående granskning av säkerhetsmyndigheterna som den som utförts för kärnkraftverk, att drifterfarenheter saknas och att även de riskstudier som gjorts är av begränsad omfattning.

3.4.9.2 Stort utsläpp av radioaktivitet från lager för använt kärnbränsle eller upparbetningsanläggning

Ett centrallager för använt kärnbränsle innebär en ansamling av långlivade radioaktiva ämnen som är flera gånger större än vad som förekommer i ett kärnkraftverk. Detsamma gäller för de förvaringstankar för flytande högaktivt avfall som förekommer i en upparbetningsanläggning. Ingående studier av de risker detta kan medföra för omgivningen liknande de studier som gjorts för kärnkraftverk föreligger ej.

Merparten av radioaktiviteten i det utbrända bränslet i ett centrallager för använt kärnbränsle liksom i upparbetningsanläggningarnas bassänger har avklingat under en tid av ett halvt till ca fem år. De radioaktiva ämnena är vid normala temperaturer till övervägande delen fast bundna till bränslematerialet och inneslutna i en tät kapsel. Omfattande frigörelse av radioaktiva ämnen från bränslet inträffar endast om bränslet överhettas.

Oavsiktlig kriticitet är en tänkbar orsak till bränsleöverhettning. Förvaringsställen för bränslet måste därför utformas så att kriticitet kan uteslutas.

Kylförlust är en annan tänkbar orsak till bränsleöverhettning. Bränslets värmeutveckling är dock på grund av den långa avklingningstiden avsevärt lägre än i ett kärnkraftverk. Detta medför att möjligheterna till uppvärmning, smältning, radioaktivitetsfrigörelse och spridning av radioaktiva ämnen vid kylförlust är avsevärt mindre än i ett kärnkraftverk.

Det utbrända bränslet förvaras i en bassäng innehållande en stor vattenmängd. Avkokning av vattnet tar med bränslets värmeutveckling mer än en vecka. Under normala förhållanden bör man därför ha god tid att återställa kylning och spädmatning innan bränslet torrläggs. Haveri på bränslebassängen, sådant att kylvattnet förloras, är då den troligaste mekanismen för överhettning på grund av kylförlust. Bassängerna konstrueras för att vara motståndskraftiga mot jordbävning och yttre åverkan genom

t.ex. flygplansstörtning. Närbelägna vattenförråd anordnas för att möjliggöra spädmatning vid bassängläckage.

Klyvningsprodukterna från det upparbetade bränslet avskiljs vid upparbetningsprocessen och förvaras f.n. i rostfria ståltankar innan de avses överföras till fast form genom t.ex. förglasning. Den högaktiva avfallslösningen måste kylas och det måste demonstreras att kylbehovet är tillgodosett under alla förutsedda förhållanden av driftstörningar och yttre åverkan. Förrådstankarna är åtskilda från varandra placerade i betongkassuner, konstruerade att motstå yttre åverkan från bl.a. störtande flygplan och jordbävning.

Som tidigare nämnts saknas underlag för bedömning av haveririskerna i ovan angivna fall motsvarande det underlag som finns i WASH-1400 för kärnkraftverk.

I rapporten från KBS-projektet behandlas tre slag av missöden i ett centrallager för använt bränsle nämligen att

- transportbehållare tappas
- bränslekassett eller andra föremål tappas
- bränsleelement tappas.

Händelser som kriticitet eller långvarigt kylningsbortfall vilka kan leda till stora utsläpp av radioaktivitet har ej behandlats.

Det är emellertid uppenbart att tidsförloppet vid utsläpp orsakade av rent tekniska fel vid dessa typer av anläggningar blir utdraget vilket under normala omständigheter bör innebära att sannolikheten för att ett tekniskt fel skall leda till ett stort utsläpp av radioaktivitet från sådana anläggningar är mindre än för ett kärnkraftverk.

3.4.10 Sabotagerisker

Terrorism och sabotage har blivit allt vanligare medel för att genomdriva aktioner i olika syften. Årligen sker något hundratal terroristaktioner som har internationell anknytning, dvs. berör två eller flera länder.

Även kärnkraftanläggningar har blivit föremål för hot och angrepp av olika slag. Vid ett tillfälle har en sprängladdning placerats i närheten av en anläggning (Ringhals). Endast ett tekniskt fel hindrade laddningen från att detonera.

Syftet med det fysiska skyddet vid en kärnkraftanläggning är för det första att förhindra att obehöriga personer tilltvingar sig tillträde till anläggningen. För det andra är syftet om tillträde trots allt sker, att anläggningen skall ha en sådan utformning att en mycket liten sannolikhet finns för att inkräktarna lyckas i sitt uppsåt. Skyddet består därför av en serie åtgärder såsom områdesskydd, tillträdesskydd, bevakning, sekretess samt byggnads- och systemtekniska åtgärder.

Av sekretesskäl är det inte möjligt att redovisa det fysiska skyddet vid en kärnkraftanläggning annat än översiktsmässigt. Kärnkraftinspektionen har arbetat med problemställningen fysiskt skydd vid kärnkraftanläggningar sedan år 1973. Ett av de största problemen har varit att fastlägga de händelser mot vilka anläggning skall skyddas. Flertalet andra länder som har motsvarande problem, främst USA, tillämpar f. n. principen, att angrepp mot ett kärnkraftverk till varje pris måste stoppas innan inkräktarna fått tillträde till anläggningen. Konsekvensen härav är att skyddet till en väsentlig del utgörs av en beväpnad vaktstyrka.

För svensk del är detta emellertid enligt kärnkraftinspektionens åsikt ingen lösning som bör eftersträvas. Beväpning av vakterna vid ett kärnkraftverk kan sannolikt inte accepteras från allmän rättssynpunkt. Vidare ger beväpnade vakter sannolikt inte tillräckligt skydd. Antalet vakter skulle troligen bli oacceptabelt stort, om full säkerhet skall föreligga för att stoppa ett angrepp utanför anläggningen. Principen skall enligt kärnkraftinspektionens åsikt i stället vara att genom en kombination av administrativa, tekniska och organisatoriska åtgärder, så långt är rimligt, förhindra att inkräktare, även sedan dessa berett sig tillträde till anläggningen, lyckas i sitt uppsåt att begå en sabotagehandling eller att få till stånd en utpressningssituation. Utöver det skydd som här berörs föreligger också behov av regler för skyddsåtgärder i samband med transport av kärnbränsle till och från anläggningarna. Föreskrifter för sådana transporter har utfärdats av kärnkraftinspektionen.

Förutsättningar syftande till upptäckt och förhindrande av sabotage mot kärnkraftanläggningar skapas bl. a. genom en begränsning av rörelsefriheten för de personer som vistas inom anläggningen och särskilt inom dess vitala delar. Vidare skapas möjlig-

het för kontroll av personer inom anläggningens område. Förutsättningar för bevakning av vissa vitala utrymmen skapas. Vissa ingrepp i de systemtekniska delarna av anläggningen planeras med syfte att eliminera eventuella inkräktares möjligheter att påverka anläggningens drift. Vid revision och liknande arbetssituationer ökas skyddet så att skyddsnivån är oförändrad, trots det ökade antalet personer som vistas inom området. Målet skall vara att förhindra att sprängmedel eller andra skadliga ämnen förs in i anläggningens vitala delar.

Det fysiska skyddet syftar vidare till att avvärja eller fördröja angrepp från personer som söker tränga sig in i en anläggning i syfte att skada anläggningen eller dess personal. Målet skall i första hand vara att förhindra inträngning i anläggningen. I andra hand skall det fysiska skyddet fördröja angrepp genom att olika fysiska barriärer uppförs. Målet är att skapa ett tidsförsprång så att systemtekniska åtgärder kan vidtas till skydd för anläggningen och dess personal.

Kärnkraftanläggningar är vanligen uppförda på ett relativt stort avstånd från tättbebyggda samhällen. Hänsyn måste därför tas till den tid som behövs innan polis kan ingripa. Anordningar för skydd av bevakat område skall därför indikera angrepp så snabbt som möjligt.

Skyddsåtgärder blir därefter i hög grad beroende av anledningen till ett utlöst larm. Ett larm skall därför kunna verifieras så snabbt och så säkert som möjligt.

Övriga anordningar för fysiskt skydd skall vara så utformade, att de under viss tid från den tidpunkt då angreppet indikerades förhindrar olovligt intrång i kontrollrum eller annat vitalt utrymme.

3.5 Vattenkraft

3.5.1 Inledning

I Sverige finns ett stort antal dammar. Storleken hos dessa varierar från de allra minsta upp till en höjd av 125 m. De stora dammarna, dvs. de som har en höjd av minst 15 m och som enligt en internationell definition kallas "höga dammar" är 130 st. Hur många mellanstora och små dammar som finns i Sverige är okänt. F. n. pågår en inventering av dammar i vattendrag i de södra och mellersta delarna av landet vilket kan underlätta en bedömning av det totala antalet. Troligen uppgår det totala antalet dammar till några tusen. Det kan nämnas att det finns ca 1 000 vattenkraftstationer i CDL:s förteckning. Några av dem har mer än en damm.

Dammar kan användas för vattenkraft, flottning, inlandssjöfart, vattenförsörjning, bevattning, skyddsinvallning och som sedimentationsbassänger vid gruvor. I Sverige är det numera till helt övervägande delen vattenkraften som utnyttjar höga dammar.

De analyser som har gjorts omfattar således endast permanenta dammar med en höjd över 15 m. Anledningen är dels att statistiken för de mindre dammarna är mycket ofullständig, dels att dammar (s. k. fångdammar) som byggs för tillfälligt bruk i samband med byggnad av t. ex. permanenta dammar byggs med andra konstruktioner än de permanenta dammarna. Fångdammarna är oftast låga och konsekvenserna av ett brott på en sådan eller en annan låg damm kan visserligen leda till förluster av människoliv, men bedöms inte leda till stora katastrofer av här avsett slag.

En översiktlig redovisning av haveririsker med vattenkraft har gjorts i kommisionens huvudbetänkande (SOU 1978:17, avsnitt 6.6.5).

3.5.2 Risken för dammbrott

Uppgiften att bedöma risken eller sannolikheten för dammbrott kan angripas på olika sätt. Vid konstruktion och byggande av dammar använder man olika kriterier beträffande belastningar och motståndsförmåga. De nuvarande dimensioneringsmetoderna ger inte någon god bas för en teoretisk bedömning av den totala sannolikheten för brott hos en damm.

Ett helt annat sätt att analysera sannolikheten för brott är att utnyttja statistik över verkliga händelser under lång tid för ett stort antal av liknande objekt. Denna metod har använts i den expertstudie som har gjorts för kommissionen. Även denna metod har dock sina svårigheter och begränsningar.

Internationell statistik för brott hos dammar finns för ett mycket stort antal dammar byggda och brukade under en lång tidsperiod. Den internationella statistiken omfattar dammar byggda från år 1850 och fram till år 1965.

Vid riskanalyser har det varit brukligt att ange sannolikheten för brott som direkt proportionell mot exponeringstiden. För dammar syns detta inte vara lika naturligt. I stället tyder statistiken på en successivt avtagande frekvens. Ett mera rättvisande sätt är därför att uppdela sannolikheten för brott i en engångsandel för dammens tillkomst och en tidsproportionell andel för dammens användningstid.

För normala svenska höga dammar (minst 15 m höga)

syns sannolikheten för brott på grundval av den omfattande internationella statistiken och under hänsynstagande till specifika och för Sverige gynnsamma förhållanden kunna sättas till 0,1 à 0,5 % per damm under dammens tillkomsttid och 0,01 % per år och damm för användningstiden.

För de högsta dammarna, över 100 m finns ingen brottstatistik. För de svenska dammarna av motsvarande storlek har därför antagits att brottsannolikheten är en tiopotens lägre än för de normala svenska dammarna. Speciellt gäller detta om dammarna dessutom är regleringsdammar med sällan fyllda magasin. Om den internationella statistiken analyseras med avseende på dammar för vattenkraft resp. dammar för andra ändamål får man värden på brottsannolikheten för vattenkraftdammar som ligger på ca en tredjedel av värdet för samtliga dammar tagna tillsammans.

Det bör observeras att även om brottstatistiken för dammar omfattar en lång tidsrymd ger den inga säkra indikationer på utvecklingen under längre användningstider.

3.5.3 Konsekvenser av dammbrott

För bedömning av konsekvenserna i form av döda och skadade samt av ekonomiska skador fordras först en bestämning av den ursprungliga brottflodvågens storlek och tidsförlopp. Den aktuella dammens utformning och det tänkta brottets utseende och läge har betydelse för brottflodvågens utseende. Vidare inverkar vattenmagasinets storlek samt vattenströmningsförhållanden fram till dammbrottet. Vissa uppgifter om inträffade dammbrott och de därvid aktuella initialflödena finns.

När det gäller den efter ett dammbrott uppkomna flodvågens fortsatta utbredning längs älvdalen nedanför den aktuella dammen bör beaktas att man normalt inte har några vattenståndsobservationer från tidigare flöden som är lika stora som flodvågen. Man kan genom olika metoder skaffa sig en modell (en fysisk modell eller en beräkningsmodell) av det aktuella älvavsnittet som underlag för bedömning av flodvågens utbredning. Utvecklingsarbete inom detta område pågår bl. a. inom statens vattenfallsverk.

För bedömning av konsekvenser för bebyggelse av en flodvåg som vandrar ned efter en älv erfordras dels information om flodvågen, dels information om bebyggelse i älvdalen. Då såväl flodvågens som befolkningens storlek kan variera med årstiden har beräkningarna i kommissionens studie gjorts med an-

taganden om ogynnsamma omständigheter, t. ex fyllda vattenmagasin och stor befolkningstäthet, dvs. när fritidsbebyggelse utnyttjas. Även andra antaganden om ogynnsamma omständigheter har gjorts, t. ex. vad avser möjlighet till förvarning och evakuering.

I studien har en översiktlig genomgång gjorts av konsekvenserna av flodvågor i flera av de stora svenska älvarna. Det finns ett antal dammar som vid dammbrott under ogynnsamma förhållanden kan medföra fara för upp till flera tusen människor. Det största antalet beräknade dödsoffer är 3 000. I 4 à 5 fall skulle mer än 1 000 dödsoffer kunna krävas vid dammbrott. De ekonomiska konsekvenserna av ett brott hos en hög damm torde alltid bli stora, även i de fall då man genom förvarning, evakuering och andra åtgärder sannolikt kan minska antalet döda och skadade till ett betydligt mindre antal.

Några stora olyckor med brott i stora dammar har inte skett i Sverige. Däremot har sådana olyckor med dödsfall till följd inträffat med icke permanenta s. k. fångdammar. Som en jämförelse redovisas i tabell 3.9 antalet dödsoffer vid några inträffade dammbrott.

Tabell 3.9 Antal dödsoffer vid vissa inträffade dammbrott

Ort	Land	År	Antal döda
Saint Francis	USA	1929	450
Malpasset	Frankrike	1959	421
Vega de Tera	Spanien	1959	144
Bab-i-yar	Sovjetunionen	1961	145
Baldwin Hills[a)]	USA	1963	3
Teton	USA	1976	10

a) Jämför bild 6.4 i kommissionens huvudbetänkande (SOU 1978:17, sid. 285).

Antalet omkomna vid de angivna olyckorna ger inte en rättvisande beskrivning av olyckornas omfattning. Exempel härpå är raset av Teton-dammen där 30 000 människor blev hemlösa.

Det bör framhållas att stora olyckor med vattenkraft kan inträffa utan att dammbrott sker. Så skedde vid Vaiontkatastrofen i Nord-Italien år 1963, då bergmassor rasade ner i vattenmagasinet varvid en stor flodvåg bildades. Flodvågen sköljde över dammkrönet

utan att dammbrott inträffade. Ca 2 600 personer omkom vid olyckan.

3.5.4 Sabotage

Det är inte uteslutet att det såväl i fredstid som i krigstid kan göras medvetna försök att förstöra eller allvarligt skada stora dammbyggnader.

Några sådana försök i fredstid är inte kända men sådana handlingar i krigstid finns det exempel på såväl i form av försvarsåtgärd som i form av fientlig handling.

I Sverige utformas stora dammar så att de kan motstå betydande krigshandlingar. Denna speciella säkerhet granskas av myndighet, innan tillstånd att uppföra dammen ges.

För att förstöra eller allvarligt skada en stor svensk damm erfordras därför en stor insats med speciella åtgärder och under lång tid. Detta skulle innebära att det för sabotage fordras en stor grupp människor med kvalificerade specialister, med tillgång till tung maskinutrustning och som genom speciella omständigheter erhållit tillräckligt lång operationstid på platsen.

För små dammar är kraven på motståndsförmåga mot ovan nämnda skadegörelse lägre. Därför blir erforderlig omfattning av en insats i avsikt att skada sådana dammar i motsvarande grad mindre.

För alla dammar kan skadeåtgärder riktas mot avstängningsluckor i dammarnas utskovspartier, vilka lättare kan skadas än övriga delar av dammen. Dock skulle konsekvenserna av sådana åtgärder bli begränsade, då det vattenflöde som kan uppstå nedanför dammarna är av ungefär samma storlek som det naturliga högsta vattenflödet för dammen.

3.6 Sammanfattande om risken för stora olyckor

3.6.1 Tänkbara konsekvenser vid stora olyckor i energianläggningar

Som framgått av föregående avsnitt är riskerna för stora olyckor och de slag av konsekvenser som kan uppstå vid sådana beroende av resp. energislags speciella egenskaper och av omgivningsförhållandena. Direkta jämförelser kan därför endast utföras i begränsad utsträckning.

Av de energislag som har behandlats i detta kapitel ger olja och kärnkraft såväl risker för akuta ska-

dor och dödsfall som latenta skador och dödsfall samt dessutom omfattande miljöpåverkan. Dammras i vattenkraftverk kan ge akuta skador och dödsfall samt omfattande landskapspåverkan medan olyckor i samband med utnyttjande av kol eller naturgas främst innebär risk för akuta skador och dödsfall.

3.6.2 Jämförelse av risk för dödsfall vid stora olyckor

Figur 3.3 visar en jämförelse av resultaten av de riskstudier som har utförts för kommissionens räkning.

Beaktas osäkerhetsintervallen, som kan vara en faktor 10 såväl i sannolikhet som i konsekvens, måste slutsatsen för riskberäkningarna bli att med undantag för den tänkta LNG-terminalen i Brofjorden, de studerade anläggningarna är tämligen likvärdiga med avseende på risker för omgivningen. Det bör framhållas att underlaget för att bedöma sannolikheterna för skilda slag av anläggningar och olyckor är varierande till såväl omfång som kvalitet. Detta påverkar osäkerhetsintervallen och därmed också möjligheten till direktjämförelser av olycksrisken för de studerade anläggningarna.

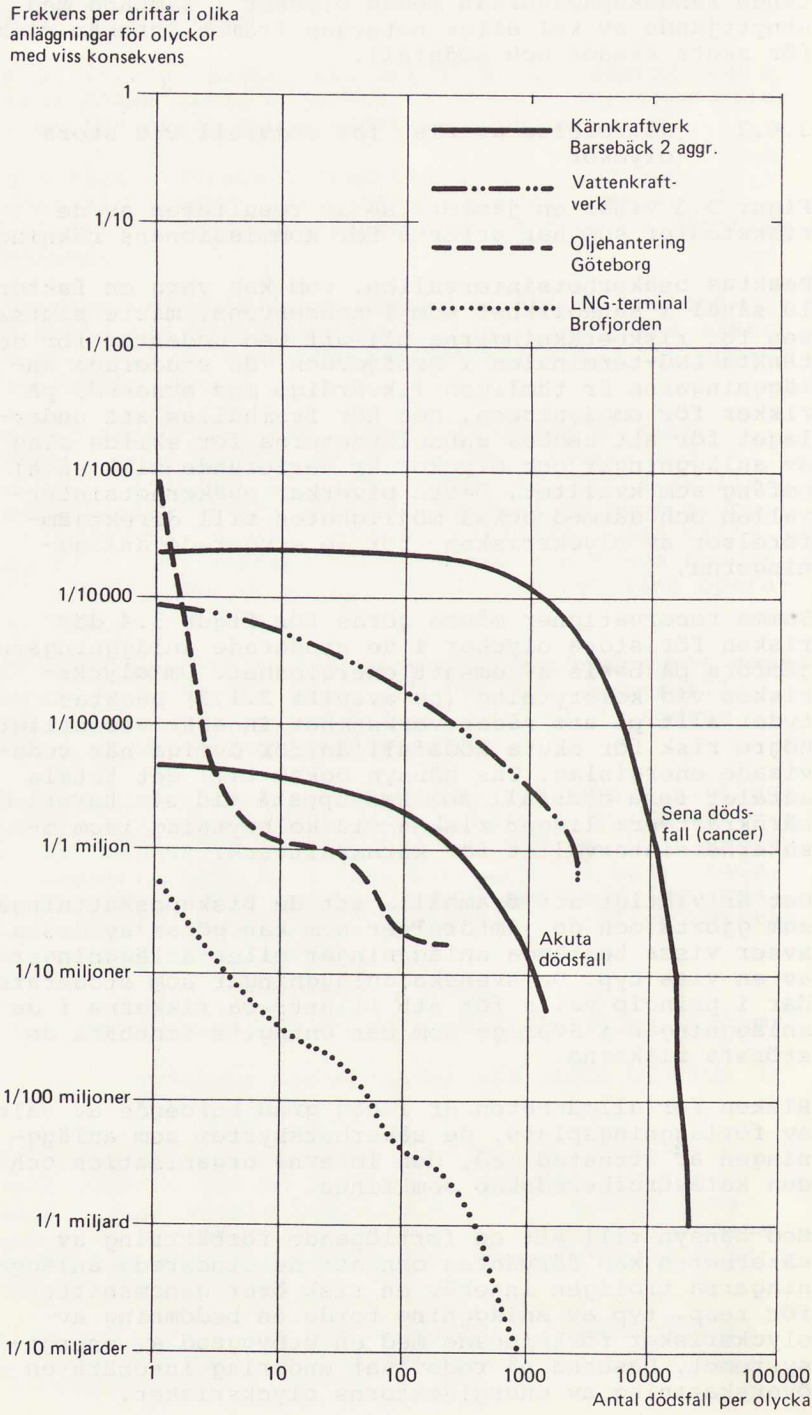
Samma reservationer måste göras för figur 3.4 där risken för stora olyckor i de studerade anläggningarna jämförs på basis av omsatt energienhet. Om olycksrisken vid kolbrytning (se avsnitt 3.1.3) beaktas tyder allt på att sådan verksamhet innebär väsentligt högre risk för akuta dödsfall än för övriga här redovisade energislag. Tas hänsyn också till det totala antalet sena dödsfall som kan uppstå vid ett haveri i ett kärnkraftverk ligger risken vid kolbrytning inom osäkerhetsintervallet för kärnkraftverk.

Det är viktigt att framhålla att de riskuppskattningar som gjorts och de jämförelser som kan göras av dessa avser vissa bestämda anläggningar eller anläggningar av en viss typ. De svenska anläggningar som studerats har i princip valts för att illustrera riskerna i de anläggningar i Sverige som har antagits innebära de största riskerna.

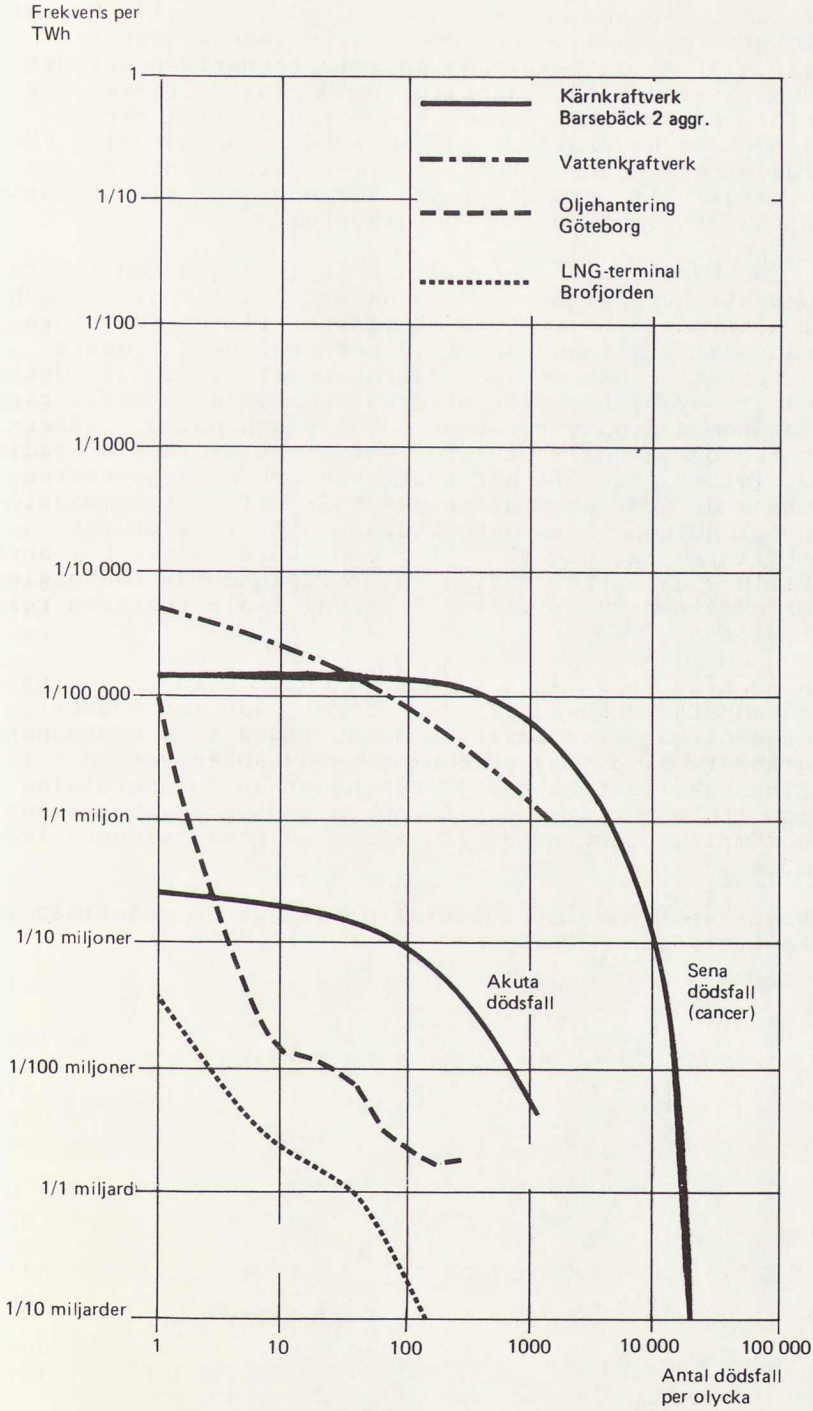
Risken för allmänheten är i hög grad beroende av valet av förläggningsplats, de säkerhetssystem som anläggningen är utrustad med, den interna organisation och den katastrofberedskap som finns.

Med hänsyn till att en fortlöpande förbättring av säkerheten kan förväntas och att de studerade anläggningarna troligen innebär en risk över genomsnittet för resp. typ av anläggning torde en bedömning av olycksrisker förknippade med en utbyggnad av energisystemet, baserad på redovisat underlag innebära en överskattning av energisektorns olycksrisker.

Figur 3.3 Jämförelse av risk för dödsfall vid stora olyckor



Figur 3.4 Jämförelse av risk för dödsfall vid stora olyckor



3.7 Utvärdering av kommissionens alternativ ur haverisynpunkt

I kommissionens huvudbetänkande (SOU 1978:17) Energi konstaterades i konsekvensbeskrivningen (avsnitt 8.6.5.4) av de beräknade energialternativen att det kvantitativa underlaget för bedömning av risker för stora osannolika olyckor är begränsat till utnyttjande med nuvarande teknik och för vissa utvalda förläggningsplatser. Underlaget kan därför inte på ett meningsfullt sätt utnyttjas för en total riskuppfattning för ett framtida energisystem.

I den kvalitativa konsekvensbeskrivningen konstaterades att avvecklingen av kärnkraft i alternativ A och i alternativ B givetvis eliminerar risken för stora radioaktivitetsutsläpp från kärnkraftverk i dessa alternativ. Däremot kan det knappast hävdas att detta på ett avgörande sätt påverkar samhällets totala risktagande vad gäller risken för liv och hälsa. Osäkerheten om sannolikheten för ett stort utsläpp av radioaktivitet från ett kärnkraftverk och konsekvenserna därav är dock en bidragande orsak till att kommissionen i huvudbetänkandet uttalade att ett slutligt ställningstagande för eller emot kärnkraften bör anstå tills vidare. För övriga haveririskbedömda energislag är skillnaderna i tillförd energi i alternativen relativt små.

Sammanfattningsvis konstaterade kommissionen i sitt huvudbetänkande att risker förknippade med mycket osannolika olyckor fick bedömas ligga inom godtagbara gränser. Bl.a. med anledning härav ansågs att det inte finns skäl att nu avstå från något av de energislag som ingår i vårt energiförsörjningssystem. Mot denna bedömning reserverade sig vissa av kommissionens ledamöter.

Kommissionens slutliga ställningstagande redovisas i kapitel 5.

4 AVFALL

Vid energiomvandling uppkommer liksom vid många andra samhällsaktiviteter biprodukter som ej nyttiggörs, dvs. avfall. Produktion av avfall som måste förvaras innebär ett stort ansvar gentemot de människor inkl. kommande generationer, som kan uppleva negativa konsekvenser av detta avfall och dess ackumulerande effekter. Från samhällelig synpunkt bör den primära åtgärden vara att i så stor utsträckning som möjligt minska avfallsproduktionen samt att i görligaste mån nyttiggöra producerat avfall i andra processer.

I detta avsnitt behandlas avfall från omvandling av några olika energiråvaror, medan annan miljöpåverkan förknippad med denna omvandling, t.ex. utsläpp av föroreningar i atmosfären, kylvattenutsläpp osv. och deras effekter på mark och vatten, behandlades i kommissionens huvudbetänkande, främst i avsnitten 6.6 och 8.6.5.

4.1 Olja

Avfall i samband med oljehantering uppstår vid raffinering, lagring och förbränning.

4.1.1 Raffinering

I ett modernt raffinaderi med en årskapacitet på 7 milj. ton beräknas 8-10 000 ton slam per år med en torrsubstans på 5 % avskiljas i avloppsreningsanläggningen. Detta slam kan brännas i en slamförbränningsanläggning och askan deponeras.

Vid tankrengöringar erhålles efter extraktion av oljeinnehållet en bottensats som har karaktären av oljegrus och innehåller ca 10-20 % olja. Avfall av detta slag har använts som fyllnadsmaterial för vägbyggen eller deponerats på soptippar.

Dessutom förekommer i vissa fall avfall i form av förorenat svavel.

4.1.2 Lagring

I cisterner för tjockolja uppstår med tiden ett bottenslam såvida ej hela cisterninnehållet cirkulerar. Vid många anläggningar måste vatten och oljeslam avlägsnas medelst cisternrengöring. Totala mängden oljeavfall uppskattas till 100 000-150 000 m^3 per år. Mängden oljeavfall har ökat under senare år.

Flera mottagningsstationer för avfallsoljor finns i landet. Den totala deponerade mängden avfallsslam från sådana anläggningar kan uppskattas till 50 000-100 000 m^3 per år med dagens oljekonsumtion.

4.1.3 Förbränning

Vid förbränning av olja erhålls med rökgaserna varierande mängd fasta partiklar. Dessa utgörs dels av sotpartiklar bestående av rent kol som bildas vid ofullständig förbränning, dels av oorganiska partiklar, som till största delen består av oxider av järn, aluminium, vanadin, nickel, natrium och kisel. Partiklarna innehåller även polyaromatiska kolväten. Avfallsmängden är bl.a. beroende av effektiviteten hos installerade stoftavskiljare.

Sotning av pannor ger avfall av samma slag som från stoftavskiljare. Vanadin- och nickelhalterna i olja är 10-50 gram/ton resp. 5-25 gram/ton vilket svarar mot halter i sotet av 0,5-8% resp. 0,7-4%. Mängden sot som i dag deponeras är okänd men kan uppskattas till 2 000 à 10 000 ton/år. En ökad användning av stoftavskiljare kan förväntas öka denna mängd.

Metallerna vanadin och nickel kan utvinnas ur detta sot genom vätskeextratktionsprocesser i återvinningsanläggningar. Sotet eller resterna efter återvinning utgörande ca 10% av den totala mängden, deponeras på tät mark och med kemisk fällning av lakvattnet.

Få undersökningar finns beträffande inverkan på miljön av sotdeponering. Avfallet från Stenungsunds kraftverk (vattensotning) har studerats och visar en relativt stor urlakning av både vanadin och nickel. En deponering av avfallet på tät mark och behandling av lakvattnet torde ge en från miljösynpunkt tillfredsställande lösning. Åtgärder för destruktion av de polyaromatiska kolvätena bör därvid uppmärksammas.

Vid rökgasrening med skrubbers erhålles stora avfallsmängder bestående av kalciumsulfit och -sulfat på liknande sätt som vid kolförbränning.

4.2 Kol

4.2.1 Inledning

Avfall från kol uppstår framför allt vid brytning, tvätt och förbränning. Endast förbränning förekommer i Sverige eftersom brytvärda kolfyndigheter saknas inom landet.

4.2.2 Kolbrytning och koltvätt

Kolbrytning ger upphov till avfall i form av avrymningsmassor, dvs. berg och lera som inte innehåller utvinningsvärda kolmängder. I samband med kolbrytning förekommer i vissa fall tvättning av kolet, vilket leder till avfall i form av frånseparerad mineralsubstans.

Avrymningsmassor utnyttjas i allmänhet för att återställa landskapet efter avslutad brytning och bedöms inte utgöra något väsentligt avfallsproblem.

Koltvätt tillämpas främst för att minska kolets askhalt. Därigenom undviks långa transporter av onödigt stor kvantitet aska. Kol som förbränns i anslutning till kolfyndigheter tvättas endast undantagsvis, medan kol som säljs på den internationella marknaden som regel är tvättat.

Vid tvättningen avskiljs en del av kolets pyritinnehåll varigenom kolets svavelhalt reduceras. Detta har på senare tid blivit ytterligare ett argument för tvättning av kol och har i vissa fall kommit att ersätta avsvavling av rökgaserna.

Tillsammans med pyriten avskiljs även en rad tungmetaller, t. ex. kvicksilver, kadmium och arsenik. Avfallet innehåller även några 10-tal procent kol.

På grund av pyritinnehållet är materialet vittringsbenäget och den hittills tillämpade uppläggningen i högar leder därför till att ett svavelsurt, metallhaltigt vatten förorenar både yt- och grundvatten. Detta är ett allvarligt miljöproblem vid många kolgruvor. Materialet är brännbart och det är inte ovanligt att dylika avfallsupplag fattar eld, vilket leder till stora utsläpp av främst svaveldioxid, men även av stoft, kolväten och kvicksilver. Avfallsupplag som tagit eld är mycket svåra att släcka.

Den teknik för avfallsdeponeringen som vanligen tillämpas är primitiv och ger upphov till stora problem genom förorening av yt- och grundvatten. Om avfallet behandlas på likartat sätt som föreslagits för hantering av lakrester från uranutvinning ur skiffer reduceras problemen till samma nivå.

4.2.3 Kolförbränning

Vid förbränning av kol på rost eller i kolpulverpanna kommer den obrännbara delen, askan, att delas upp i bottenaska (slagg) och flygaska. Bottenaskan som stannar i eldstaden sintrar till viss del ihop till större svårlösliga stycken. Flygaskan följer med rökgasen och avskiljes med någon typ av stoftavskiljare. Askans andel och sammansättning varierar med kolsorten och utgör i allmänhet 6-12% av kolets vikt.

Askans innehåll

Askan, som är basisk, består huvudsakligen av järn- och aluminiumhaltiga silikater (bränd lera). Askan innehåller också en rad andra ämnen, bl. a. tungmetaller.

I ett räkneexempel som redovisas av miljö- och säkerhetsgruppen anges medelhalter av metaller i kol resp. aska enligt tabell 4.1.

Tabell 4.1 Exempel på halter av för miljön betydelsefulla ämnen i kol resp. aska

Ämne	Halt i kol (gram/ton)	Halt i aska (gram/ton)
Arsenik	5,0	49
Beryllium	1,5	15
Kadmium	0,2	1,9
Kobolt	6,0	60
Krom	12	120
Koppar	15	150
Kvicksilver	0,1[a]	0,1
Mangan	40	400
Nickel	15	150
Bly	10	96
Selen	2,0	20
Svavel	700-3000	350-1500
Uran	2	20
Vanadin	25	250
Zink	45	440

[a] Tvättat kol med låg kvicksilverhalt.

Askan är på grund av hög damningsbenägenhet besvärlig att hantera. Vatten tillsätts därför vid all form av deponering.

Metallhalterna i kolaskan varierar men är nästan undantagslöst avsevärt högre än i normal mark.

Urlakning av metaller

Uppgifter i litteraturen om urlakning av tungmetaller från aska, slagg och flygaska förekommer mycket sparsamt.

De av miljö- och säkerhetsgruppen relaterade undersökningarna anger att metallhalterna vid urlakning för de flesta fall är i nivå med eller under de normer som världshälsoorganisationen WHO anger för dricksvatten. Dessa normer ger dock ingen uppfattning om hur metallutsläppet till yt- eller grundvatten påverkar ekosystemen. Eftersom metallernas giftverkan bl.a. är beroende av vilket ekosystem som exponeras kan man inte generellt uttala sig om på vilket sätt och i vilken omfattning ekosystemen påverkas. WHO:s normer ger inte heller några garantier för att några hälsoeffekter inte uppstår, särskilt för cancerogena metaller som krom och nickel.

Sur nederbörd förbrukar avfallets basiska del. Därigenom möjliggöres urlakning av metaller. Riskerna med förhöjda metallhalter bör därför betraktas såväl i ett kortsiktigt som framför allt i ett långsiktigt perspektiv.

Möjliga åtgärder för att minska metallurlakning

Miljöproblemen vid deponering av kolaska och slagg är helt avhängiga den teknik som används samt askans och markens egenskaper.

Som framgår av tabell 4.1 är metallhalten i aska och slagg som regel 10 gånger så stor som i bränslet. Då urlakning av metallerna till yt- och grundvatten kan ske bör avrinningen och infiltrationen kontrolleras. En möjlig väg att åstadkomma detta kan vara att förlägga upplagen till tät eller tätad mark med jonbytande egenskaper.

En metod för att minimera urlakning vid askdeponering är att förse upplagen med avskärande diken. Yt- och lakvatten kan behandlas med kemisk fällning varvid utsläppen blir små. Åtgärderna kan behöva vara i funktion under lång tid efter det att själva anläggningen lagts ned.

För att minska sannolikheten för en långsiktigt ökad urlakning kan askan även täckas över med material som minskar vattengenomträngningen. Marginalen mot urlakning kan också ökas genom inblandning av kalksten i den deponerade askan.

I länder med omfattande kolanvändning söker man finna nyttig användning för askan. Miljöproblemen vid sådan användning kan dock utgöra ett hinder.

Avfall vid rökgasavsvavling

Avskiljning av svaveldioxid med hjälp av s.k. skrubber, baserad på kalkprocesser, ger stora avfallsmängder. Vid användning av ett kol med en svavelhalt av 3% skulle en slammängd på ca 500 000 ton/år, motsvarande ungefär lika stor volym i m^3, erhållas för ett kraftverk på 1 000 MW_e. Slammet är en blandning av kalciumsulfat, oreagerad kalksten och kalciumsulfit förorenat med metalloxider. Sammansättningen beror av flera faktorer och kan variera inom vida gränser. Sulfatandelen beror på anläggningens utformning och kan ökas till nära 100% med olika processmodifikationer. Hög sulfatandel innebär fördelar från miljövårdssynpunkt och vid avvattning av slammet. För mycket kvarvarande sulfit (> 5-10%) gör slammet tixotropt med mycket dåliga hållfasthets- och avvattningsegenskaper.

Den f.n. vanligaste metoden vid deponering av slammet är utpumpning till ett invallat område med lerbotten, där det fasta materialet avsätts och det renade ytvattnet återanvänds i skrubbern.

Små mängder av de metaller och andra spårämnen som förekommer i det kol som förbränns når kalktvättsystemet även om mycket höga avskiljningsgrader använts i stoftavskiljarna. Från den amerikanska miljövårdsmyndigheten EPA har föreslagits ett lerlager i botten på avfallsområdet för att motverka infiltration till grundvattnet.

Deponering av avfall innehållande sulfit ger sulfitjoner i lakvattnet. Dessa förbrukar syre i recipienten. Utsläppen har betydelse vid dåliga recipienter. Problemen kan reduceras bl.a. med processmodifikationer som ger hög sulfatandel.

På samma sätt som vid lager av askavfall kan områden med avfallsslam dräneras eller övertäckas vilket minskar utlösningen av sulfit- och metalljoner. Som nämnts kan också botten på lagret göras tätt med lera och dräneringsvattnet återanvändas. Endast mindre vattenmängder behöver då behandlas före utsläpp till recipient.

Fluidiserande bäddar

Den sammanlagda mängden slagg och aska från kolet vid förbränning i fluidiserande bädd är densamma som vid kolpulvereldning. I detta avfall är tungmetallerna mindre fast bundna, vilket ökar risken för urlakning av dessa då avfallet deponerats.

Genom avsvavlingen i bädden med kalksten kommer även kalciumoxid och kalciumsulfat att medfölja slagg och aska. Denna teknik är ännu ej kommersiellt etablerad.

4.3 Skiffer

4.3.1 Inledning

Eftersom ett flertal processer är tänkbara för att utnyttja landets skiffertillgångar är det inte möjligt att beskriva avfallsproblemen i generella termer. Både kvantitet, sammansättning och fördelning mellan olika typer av avfall är beroende av de lokala förhållandena och aktuell kombination av många möjliga delprocesser. För att exemplifiera vilka avfall som kan erhållas väljs uranutvinning i Ranstad enligt några olika processer som exempel.

4.3.2 Uranutvinning i Ranstad enligt den s.k. AE-processen med stegvis neutralisation och indunstning

(projekt Ranstad -75 enligt slutlig beskrivning)

Projektet avser brytning av ca 6 milj. ton skiffer per år motsvarande en uranutvinning av ca 1 300 ton per år. Efter mineralberedning bestående av sovring och krossning lakas skiffern med utspädd svavelsyra.

Uranet utvinnes ur laklösningen genom vätskeextraktion varefter laklösningen neutraliseras i två steg. Det erhållna slammet avvattnas och deponeras, främst i utbrutna gruvrum. Den del av resterande lösning som ej kan återföras i processen indunstas varvid däri lösta salter kristalliserar och avses bli avyttrade till gödselmedelindustrin.

Lakrester

Så gott som all pyrit finns kvar i lakresten varför kontakt med luft leder till vittring och omvandling till järnsulfat och svavelsyra. För att neutralisera den svavelsyra som bildas blandas lakresten med ca 5 % finmald kalk.

Lakresten avses bli deponerad i de utbrutna dagbrotten på en 4 m tjock bädd av s. k. toppskiffer, dvs. skiffer med lågt uraninnehåll, och omges av vallar bestående av hårt packad lakrest. Lakresten läggs i ett ca 14 m tjockt lager och överytan kommer därmed att vara i nivå med den ursprungliga markytan. Detta utförande syftar till att minimera vattenströmning genom upplaget och genom att vattenytan kommer att stå över lakresten blir även diffusionen av syre till lakresten starkt begränsad. Detta innebär att läckage av tungmetaller begränsas. Över lakresten läggs i ordning

1 m hårt packad morän,

9 m kalksten,

6 m morän och

1,5 m torvblandad morän.

Markytan kommer därefter att vara på 10 à 20 m högre nivå än tidigare.

Neutralisationsslam

Genom stegvis neutralisation och indunstning minskas mängden lösta salter i neutralisationsslammet. Processen innebär att restlösningen efter uranextraktionen behandlas så att slam fälls ut i två steg. Slammet deponeras i utbrutna gruvrum.

Närsalter

Den del av återstående lösning med närsalter som inte kan återcirkuleras inom processen indunstas varigenom utsläpp av avfallslösningar med närsalter kan undvikas under normaldrift. Närsalterna erhålles då i kristallinform och säljs till gödningsmedelsindustrin.

Toppskiffer

I samband med utvinning av den uranrika skiffern (i Ranstad ca 3,6 m tjock) bryts även ovanliggande toppskiffer (i Ranstad ca 2,6 m tjock).

Denna skiffer har lägre uranhalt men innehållet av pyrit och övriga tungmetaller är jämförbart med den uranrika skiffern. På grund av pyritinnehållet är den även vittringsbenägen. Toppskifferns bidrag till vittringsbenägenheten är på kort sikt obetydligt trots att toppskifferns innehåll av pyrit och tungmetaller är stort. Den potentiella risk som pyritens vittringsbenägenhet utgör får dock inte negligeras.

4.3.3 Uranutvinning i Ranstad enligt "Mineralprojekt Ranstad"

Projektet innebär dels forsknings- och utvecklingsarbete, dels brytning av, enligt huvudalternativ, 1 milj. ton skiffer per år motsvarande en uranutvinning av ca 200 ton/år. Processen skiljer sig från den som beskrivits ovan endast i det avseendet att viss kvantitet molybden och natriumsulfat avses utvinnas ur extraktionskretsen. Detta påverkar ej avfallet, utan vad som ovan sagts är tillämpligt även för detta projekt.

4.3.4 Förbränning av lakrest

Genom att komplettera lakningsprocessen för utvinning av uran ur skiffer med ett s.k. termiskt processsteg blir avfallet mindre vittringsbenäget. Dessutom minskar kvantiteten med ca 20%. Efter förbränningen överensstämmer egenskaperna hos lakresten väl med egenskaperna hos kolaska. På lång sikt finns risk för urlakning av metaller och samma skyddsåtgärder som vid deponering av kolaska bör vidtas. Metallinnehåll i skiffer, lakrest och bränd lakrest framgår av tabell 4.2.

I samband med förbränningen avgår lakrestens svavelinnehåll i gasform och måste avskiljas. Teknik för detta finns och en del av det avskilda svavlet åtgår i processen i form av svavelsyra. Resterande del kan medföra praktiskt/ekonomiska problem.

4.4 Biomassa

4.4.1 Inledning

Askhalterna i olika typer av biomassa varierar kraftigt, beroende på att t.ex. näringstillgång, geologiska förutsättningar och vattentillgång varierar.

I tabell 4.3 redovisas askhalterna i några olika typer av biomassa. Av tabellen framgår bl.a. att "vanlig" ved och halm ger mycket små mängder fast avfall.

Tabell 4.2 Exempel på halter av för miljön betydelsefulla ämnen i skiffer, lakrest och bränd lakrest

Ämne	Sovrad[a] skiffer ton/milj.ton	Lakrest[a] ton/milj.ton bruten skiffer	Bränd lakrest[b] ton/milj.ton bruten skiffer
Arsenik	38	26	89
Kadmium	40 000	34 000	33 200
Krom	60	54	260
Koppar	110	100	96
Kvicksilver	0,29	0,3	0,01[c]
Mangan	250	100	96
Nickel	200	118	114
Bly	14	12	11,4
Uran	300	58	55,6
Vanadin	750	587	567,8
Zink	130	92	87

[a] Enligt lokaliseringsansökan enligt 136a § byggnadslagen för projekt "Ranstad 75".

[b] Bl.a. enligt teknisk beskrivning över "mineralprojekt Ranstad".

[c] Den helt övervägande delen av lakrestens innehåll av kvicksilver förångas och måste avskiljas i speciell reningsapparatur.

Tabell 4.3 Askhalter i olika typer av biomassa, %

Biomassa	Askhalt	Medelvärde
Energiskog[a]	0,8 - 2,4	1,4
Barr och lövträd		
Ved	0,1 - 2,0	0,4
Bark	0,5 - 5,0	2,0
Torv		
Näringsfattig	0,5 - 6,2	2,0
Näringsrik	1,3 - 15,0	5,0
Vass	4,0 - 10,0	?
Halm	0,1 - 1,5	?

[a] Intensiv odling av vissa poppel- och sälgarter enligt professor Sirén.

4.4.2 Askans sammansättning

Askan, som är basisk, består huvudsakligen av kalcium, kisel, magnesium, kalium och fosfor. Askan innehåller också en rad metaller.

Det finns endast få uppgifter tillgängliga om metallinnehållet i fast avfall från biomassa. Säkerhets- och miljögruppen har beräknat vilka mängder metaller som kan tänkas uppträda i askan av förbränd biomassa. I tabell 4.4 redovisas metallinnehållet i ett antal olika typer av biomassa inkl. torv.

De stora variationerna i metallinnehåll mellan olika typer av biomassa och inom en viss biomassa beror på ett flertal faktorer. Metallinnehållet i marken varierar mellan och inom olika ekosystem. Växternas upptagning av metaller varierar och är beroende av ett stort antal biologiska faktorer.

Förbränningsresternas egenskaper är väsentliga för metallspridningen i naturen. Den fasta återstoden kommer att bestå dels av stelnad smälta (slagg), dels av aska. De metaller som binds i slaggen kommer att vara betydligt mer svårlösliga än de som återfinns i askan. Vissa data tyder på att ca 25-30 % av den totala mängden fast avfall kommer att finnas i slaggen.

Tabell 4.4 Metallinnehåll i olika typer av biomassa, gram/ton torrsubstans

Metall	Energiskog	Lövträd	Barrträd	Halm	Vass	Torv
Mangan	5-44	15-164	12-194	57	166	10-166
Zink	45-92	7- 56	40- 44	43-46	37	6-53
Kobolt	0,05-0,15	0,05-0,30	0,05-0,08	0,06-0,11	0,6	0,25
Molybden				1,1	0,26	4,2
Koppar	4,6-23	1,9-4,1	3,6-5,6	2,6-9,2	4,2	2,7-11,6
Kadmium	0,43-1,7	0,06-0,25	0,10-0,34	0,036-0,083		0,17
Kvicksilver	0,025-0,07	0,01-0,02	0,01-0,02	0,028-0,036		0,05
Bly	0,52-1,54	0,97-4,6	2,2-2,8	0,72-0,83		1,0-19
Krom	0,22-1,5	0,19-1,8	1,9-2,3	0,044-0,086		1,1-5,0
Nickel	0,47-1,4	0,30-0,89	0,72-1,2	0,14-0,28	1,5	1,0-3,4

4.4.3 Hantering av fast avfall

Restprodukten efter förbränning av biomassa kan antingen deponeras eller spridas ut på biomassans växtplats.

Om hänsyn tas till de riktlinjer för avfallsdeponering som berörs i avsnittet om kol, bl.a. beträffande avfallsupplagets topografi, geologi, vattenomsättning och stabilitet, och deponering sker exempelvis på en botten tätad med lera, kommer fast avfall från biomassa sannolikt inte att utgöra en hälso- eller miljöfara. Skälen härtill är bl.a. att den ackumulerade mängden giftiga tungmetaller i biomassans aska är relativt liten och att askan är basisk varigenom urlakningen av tungmetaller fördröjs. Försurning måste därför ske under mycket lång tid för att urlakningen skall äga rum.

En återföring av aska till det ekosystem där biomassa skördades leder generellt inte till annat än att en del av de metaller som tagits bort från ekosystemet återförs. Endast i de fall där metaller tillförts ekosystemet utifrån, t. ex. genom konstgödning, kan ett nettotillskott av metaller ske till ekosystemet. De fosfatmineral som används vid konstgödningstillverkning kan innehålla avsevärda mängder kadmium. Detta innebär att om intensivt odlad energiskog används kan ett nettotillskott av kadmium tänkas ske till ekosystemet. Skälet till de "höga" kadmiumhalterna i energiskog kan vara en hög halt av kadmium i den konstgödningsgiva som använts vid odlingen. Om så är fallet kan problemet lösas antingen genom att fosfatinnehållande mineral med låg kadmiumhalt används, eller att en rening av mineralet sker vid gödselmedeltillverkningen. Detta medför troligen tekniskt/ekonomiska problem.

Växternas förmåga att uppta metaller kan användas för att avgifta ekosystem som har för hög halt av farliga tungmetaller. Det fasta avfallet måste därvid förvaras på ett betryggande sätt.

4.5 Kärnkraft

4.5.1 Inledning

Det radioaktiva avfallet från olika led inom kärnbränslegången består av ett flertal olika avfallsprodukter med varierande mängd och typ av radioaktiva föroreningar. Avfallet kan indelas på flera olika sätt. För praktiska ändamål kan avfallet beskrivas enligt någon eller några av följande grunder:

- Avfallets ursprung

Kännedom om den anläggning eller process som givit upphov till avfallet ger en uppfattning om dess sammansättning.

- Avfallets fysikaliska och kemiska form

I första hand skiljer man på fast, vätskeformigt och gasburet avfall.

- Avfallets dominerande nuklidtyp och dess koncentration

Avfallet kan indelas i kategorierna beta-gamma-avfall resp. alfaavfall. Beta-gamma-avfall indelas i sin tur i låg-, medel- och högaktivt avfall.

Lågaktivt avfall kan förpackas, hanteras och lagras i enkla emballage såsom säckar och fat utan särskilda skyddsåtgärder i övrigt.

Medelaktivt avfall behöver för säker hantering och lagring strålskärmar och ställer särskilda krav på förpackningen. Avfallet behöver dock inte kylas.

För högaktivt avfall finns flera olika definitioner. I AKA-utredningens slutbetänkande[1] anges att "som högaktivt avfall betecknas främst de klyvningsprodukter som avskiljs vid upparbetning av använt kärnbränsle. Detta avfall har så hög aktivitet att det förutom effektiv strålskärmning till en början även kräver kylning för att kunna lagras på ett säkert sätt".

---

1) Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall, SOU 1976:30

I KBS-projektet[1] har AKA-utredningens definition preciserats så att det vid upparbetningen erhållna högaktiva avfallet anges vara "det avfall med hög halt av klyvningsprodukter som erhålles som vattenfas vid extraktionsprocessen vid upparbetning av använt kärnbränsle".

Den kaliforniska energikommissionen har tillämpat en vidare definition och inkluderat allt avfall "med hög och beständig giftighet" vari bl. a. ingår flytande avfall från upparbetning (innehållande större delen av klyvningsprodukterna), använt bränsle och avfall kontaminerat med transuraner, t. ex. plutonium.

De olika flöden av luft (gaser), vätskor samt vått och torrt fast avfall som erhålls vid en kärnteknisk anläggning kontrolleras alltid och behandlas enligt någon av principerna rening och utsläpp eller koncentrering och lagring.

Luft- och vattenflöden kan som regel renas och släppas ut. Det avskilda radioaktiva materialet ansamlas i t. ex. filter och indunstarkoncentrat. Tillsammans med annat avfall från olika processer erhålls således en mängd fasta och halvflytande avfallsprodukter.

4.5.2 Produktion av avfall

4.5.2.1 Uranbrytning

Uranbrytning kan i Sverige tänkas komma till stånd i skifferförekomsterna bl. a. i Ranstad eller i vissa delar av Norrland där uranförekomster i urberg påvisats, t. ex. i Pleutajokk nära Arjeplog. Det avfall som uppstår i samband med uranutvinning ur skiffer behandlas i avsnitt 4.3. Avfallsproblemen i samband med uranutvinning ur urberg bedöms vara mindre än vid utvinning ur skiffer. Tillräckligt underlag för närmare kvantifiering av miljöeffekter i detta fall föreligger f. n. inte.

---

1) Projekt kärnbränslesäkerhet, kärnkraftindustrins projekt med syfte att visa hur villkorslagens krav beträffande använt kärnbränsle och högaktivt avfall kan uppfyllas.

4.5.2.2 Bränsleelementtillverkning

Vid tillverkning av uranoxidbränsle, vilket är den enda typ av kärnbränsle som f. n. är aktuell i Sverige, blir avfallet enbart förorenat av uran, anrikat till 2 à 3 % med U-235. Avfallet är lågaktivt.

Det plutonium som erhålls vid upparbetning av använt reaktorbränsle kan användas för att berika uranbränsle. Tillverkning av plutoniumberikat bränsle skulle ge upphov till ett avfall som är förorenat med plutonium och som klassas som alfaaktivt avfall.

4.5.2.3 Reaktordrift

Det låg- och medelaktiva avfall som erhålls vid drift av reaktorer utgörs i huvudsak av lågaktivt skräp resp. våta avfallsmassor.

Lågaktivt skräp bildas i huvudsak vid arbeten i anläggningen i samband med avställning av reaktorn för underhålls- och revisionsarbeten. Det innehåller t. ex. papper, trasor, skyddskläder osv. Avfallets volym reduceras vanligen genom ihoppressning.

De våta avfallsmassorna kommer från olika vattenreningskretsar i anläggningen. En kokarreaktor har system som renar reaktorns primära cirkulationsflöde, kondensat från turbin och kondensor, vatten i bränslebassänger samt avfallsvatten från olika delar av anläggningen.

Det högaktiva avfall som bildas vid reaktordriften återfinns i det utbrända kärnbränslet som årligen tas ut ur reaktorn i samband med bränslebyte.

4.5.2.4 Upparbetning

Genom upparbetning av det använda kärnbränslet uppdelas detta i fyra fraktioner bestående av uran, plutonium, kapslingsavfall och högaktivt avfall i lösning. Den högaktiva avfallslösningen beräknas innehålla små mängder uran och plutonium - någon eller några tiondels procent av ursprungliga mängder - förutom alla klyvningsprodukter och övriga transuraner. Vissa gasformiga klyvningsprodukter släpps f. n. ut i atmosfären från upparbetningsanläggningar.

4.5.2.5 Avställning av kärnenergianläggningar

Mängden och karaktären av det avfall som erhålles vid nedläggning av kärnenergianläggningar beror på hur långt avställningen drivs.

I ett första stadium kan anläggningen förseglas.

I stadium två reduceras den byggnadsvolym som innesluter aktivt material så långt som möjligt, dvs. aktiva komponenter etc. demonteras och förs till ett begränsat utrymme. Omgivande byggnadsdelar kan efter rengöring rivas.

I stadium tre rivs hela anläggningen. Aktiva byggnads- och systemdelar, som erfordrar lagring eller behandling bortförs.

Tidsåtgången från avslutning av driften till nedläggning av ett stort kärnkraftblock har i USA beräknats till ca 3 år för stadium två och ca 6 år för stadium tre[1]. Avveckling till stadium tre kan ske direkt, men ett tvåstegsförfarande med väntetid kan innebära såväl arbetsmiljömässiga som ekonomiska fördelar.

Endast begränsade mängder av det avfall som erhålles vid en nedläggning till stadium två eller tre har blivit radioaktivt eller försmutsats med radioaktiva ämnen som en följd av driftperioden. Huvuddelen är normalt rivningsavfall.

4.5.3 Låg- och medelaktivt avfall

Av anläggningar ingående i bränslegången finns i Sverige bara bränslefabrik för uranoxidbränsle och kärnkraftreaktorer. En beskrivning av avfallshantering vid kärnkraftverk såväl i Sverige som i utlandet ges i AKA-utredningens lägesrapport om låg- och medelaktivt avfall.

Behandlingen av avfallet syftar till att reducera dess volym och att fixera och innesluta det så att det kan lagras på sådant sätt att önskad säkerhet mot spridning av radioaktivitet till omgivningen kan uppnås.

---

1) An Engineering Evaluation of Nuclear Power Reactor Decommissioning Alternatives, Atomic Industrial Forum, AIF/NESP-009-009SR.

Metoder för slutlig förvaring av låg- och medelaktivt avfall

Det behandlade låg- och medelaktiva avfallet lagras i Sverige f. n. vid kärnkraftverken.

De metoder för slutlig förvaring som f. n. tillämpas i utlandet är:

- nedgrävning i mark
- havsdumpning
- lagring i byggnader, bergrum eller i mark.

I AKA-utredningen framhålls att nedgrävning av radioaktivt avfall i princip inte bör ske i Sverige. Vissa undantag borde dock enligt utredningen kunna få komma i fråga. Visst kortlivat, lågaktivt reaktoravfall kan vara lämpat för nedgrävning i mark. Vid nedgrävning i mark av sådant avfall täcks avfallet med ca 1 m jord. En fördel med nedgrävning av lågaktivt, kortlivat avfall är att all hantering och risker för personalen under en längre lagringsperiod är eliminerade.

I Sverige gäller sedan år 1972 en lag som innebär förbud mot dumpning av avfall i havet. Även om lagen medger dispens från denna regel, finns en stark strävan från Sverige att även internationellt markera sitt principiella avståndstagande mot all dumpning av avfall i havet.

AKA-utredningen föreslår att en central lagringsplats för låg- och medelaktivt avfall inrättas och att avfall av dessa typer som kräver förvaring i mycket lång tid förvaras i berg. En avvägning mellan lagerutrymmets kvalitet och kvaliteten hos avfallets inneslutning med hänsyn till livslängden på det radioaktiva materialet kan ske på olika sätt. F. n. bedrivs utvecklingsarbete längs flera parallella linjer.

Miljöbelastning

Det radioaktiva utsläppet till luft och vatten från hanteringen av låg- och medelaktivt avfall vid kärnkraftverk är svårt att särskilja från det totala utsläppet från en reaktoranläggning.

Som framhållits i kommissionens huvudbetänkande bedöms utläckage till miljön från lager för låg- och medelaktivt avfall i byggnader eller bergrum bli lågt i förhållande till utläckage till mark och vatten från andra anläggningar i kärnbränslegången.

4.5.4 Högaktivt avfall

4.5.4.1 Alternativa handlingslinjer för bränslehantering

Vid energiproduktion i ett kärnkraftverk förbrukas klyvbara ämnen samtidigt som avfallsprodukter bildas. Det använda bränsle som årligen tas ut ur en kärnreaktor innehåller

- oförbrukat uran ur vilket ytterligare energi kan utvinnas
- bildat plutonium som också kan utnyttjas för ytterligare energiproduktion
- ämnen som bildats vid kärnklyvningar (klyvningsprodukter) eller vid neutroninfångning i uran (transuraner) och vilka inte kan utnyttjas för energiproduktion i kärnreaktorer. Det är dessa ämnen som ger huvuddelen av strålningen i det högaktiva avfallet.

För att kunna utvinna ytterligare energi ur använt kärnbränsle måste bildade klyvningsprodukter och transuraner avskiljas från uranet genom s. k. upparbetning. Efter upparbetning kan uran och plutonium återanvändas för bränsletillverkning medan återstoden utgör avfall.

Om det använda bränslet inte upparbetas utgör hela bränslemängden avfall. Denna form av hantering av använt kärnbränsle kallas direktdeponering.

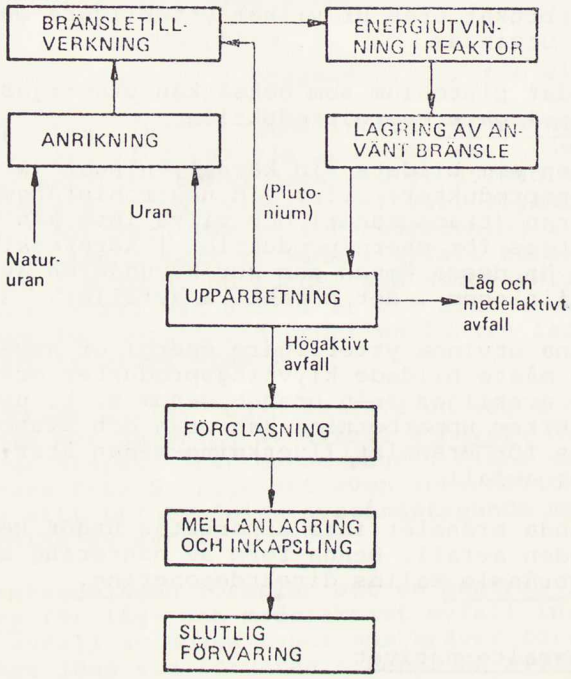
Upparbetningsalternativet

Sedan bränslet tagits ut ur reaktorn får det avklinga en tid i anläggningens bränslebassäng och eventuellt även förvaras i en central förvaringsanläggning för använt kärnbränsle. Därefter transporteras det till en upparbetningsanläggning där bränslet efter ytterligare några års lagring upparbetas.

Det vid upparbetningen återvunna uranet kan anrikas på liknande sätt som naturligt uran och därefter på nytt användas som kärnbränsle.

Även plutonium kan i form av blandoxid användas som kärnbränsle där det ersätter en del av den annars erforderliga mängden uran-235. Genom denna s. k. återcykling reduceras behovet av anrikning av uran med 15-20 %. Genom återanvändning av plutonium och uran minskas behovet av natururan med 30-35 %.

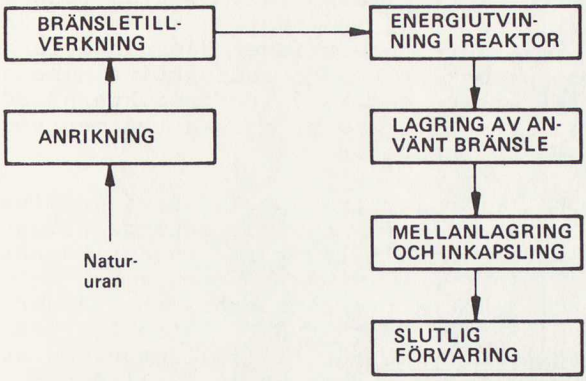
Plutonium kan även lagras för eventuell framtida användning som bränsle i s. k. bridreaktorer. Det avskilda högaktiva avfallet lagras under några år i flytande form i tankar, varefter det överförs till fast form genom tillsats av glasbildande ämnen. Glaset lagras sedan ett antal decennier för att värmetuvecklingen i avfallet skall sjunka, varefter det inkapslas för slutlig förvaring. Den principiella hanteringskedjan visas i figur 4.1.



Figur 4.1 Upparbetningsalternativet. Flödesschema för bränslecykeln med upparbetning av använt bränsle och förglasning av det högaktiva avfallet.

Direktdeponeringsalternativet

Vid direktdeponering lagras först det använda kärnbränslet för att strålningen skall avklinga. Före den slutliga förvaringen inkapslas bränslet i ett långtidsbeständigt material som utgör en barriär mot att de radioaktiva ämnena sprids till omgivningen. Slutligen deponeras avfallet i ett slutförvar. Den principiella hanteringskedjan vid direktdeponeringsalternativet visas på figur 4.2.



Figur 4.2 Direktdeponeringsalternativet. Flödesschema för bränslecykeln med direkt förvaring av det använda bränslet utan upparbetning.

Direktdeponering av utbränt bränsle innebär att missbruk av utbränt bränsle för terroraktioner eller vapentillverkning knappast blir möjlig. Upparbetningens arbetsmiljöproblem elimineras. Den potentiella farligheten uttryckt enligt det s.k. farlighetsindex som diskuteras i avsnitt 4.5.9 avtar betydligt långsammare vid direktdeponering. Behovet av naturligt uran ökar med ökad miljöbelastning som följd.

Det är inte nödvändigt att från teknisk synpunkt nu binda sig för en viss handlingslinje eftersom man under längre tid kan lagra det använda bränslet i avvaktan på att något av alternativen skall visa klara företräden framför det andra.

4.5.4.2 Beskrivning av hanteringsled för utbränt kärnbränsle

De olika hanteringsleden för utbränt kärnbränsle i fallen med upparbetning resp. direktdeponering framgår schematiskt av figurerna 4.1 och 4.2. Nedan beskrivs hanteringesleden översiktligt.

Miljö- och säkerhetsfrågor i samband med hanteringen av utbränt kärnbränsle diskuteras i samband med beskrivningen och utvärderingen av KBS-projektet i avsnitten 4.5.6 - 4.5.9.

Bassängförvaring och Centralt Lager för Använt Bränsle (CLAB)

Vid varje reaktor sker årligen bränslebyte då delar

av bränslehärden ersätts med färskt bränsle. De bränsleelement som skall ersättas, flyttas från reaktorhärden till en i kärnkraftverket belägen bränslebassäng. Några kedjereaktioner äger inte längre rum men värme utvecklas när de radioaktiva ämnena sönderfaller. Efterhand som klyvningsprodukterna sönderfallit till stabila atomer minskar värmeutvecklingen och därmed kylbehovet.

Det använda bränslet transporteras efter minst sex månader antingen till en upparbetningsanläggning eller till ett centralt lager för använt kärnbränsle.

Utrymmet i kärnkraftverkens bränslebassänger har normalt plats för högst två till tre års bränsleuttag utöver utrymme för tillfälligt uttag av reaktorhärdens bränsle. Med hänsyn till den f. n. begränsade upparbetningskapaciteten måste lagringskapaciteten byggas ut. Detta kan ske genom att öka lagringskapaciteten vid resp. kärnkraftverk eller att bygga ett centralt bränslelager för flera kärnkraftverk. Det senare alternativet har visat sig ha flera fördelar. Ett centralt bränslelager erfordras även om direktdeponeringsalternativet väljs.

CLAB dimensioneras enligt den beskrivning som ges i KBS-rapporten för en bränslemängd motsvarande 3 000 ton uran och byggs i ett bergrum ca 30 m under markytan, vilket ger miljömässiga och säkerhetsmässiga fördelar. Bergrummet utformas som en 220 m lång och 21 m bred tunnel. Höjden varierar mellan 25 och 35 m. Det innehåller en mottagningsdel, där det använda kärnbränslet lyfts ur transportkärlen och placeras i kassetter, en lagringsdel som består av 6 bassänger och en hjälpsystemdel som placeras i ett mindre bergrum. Se figur 4.3.

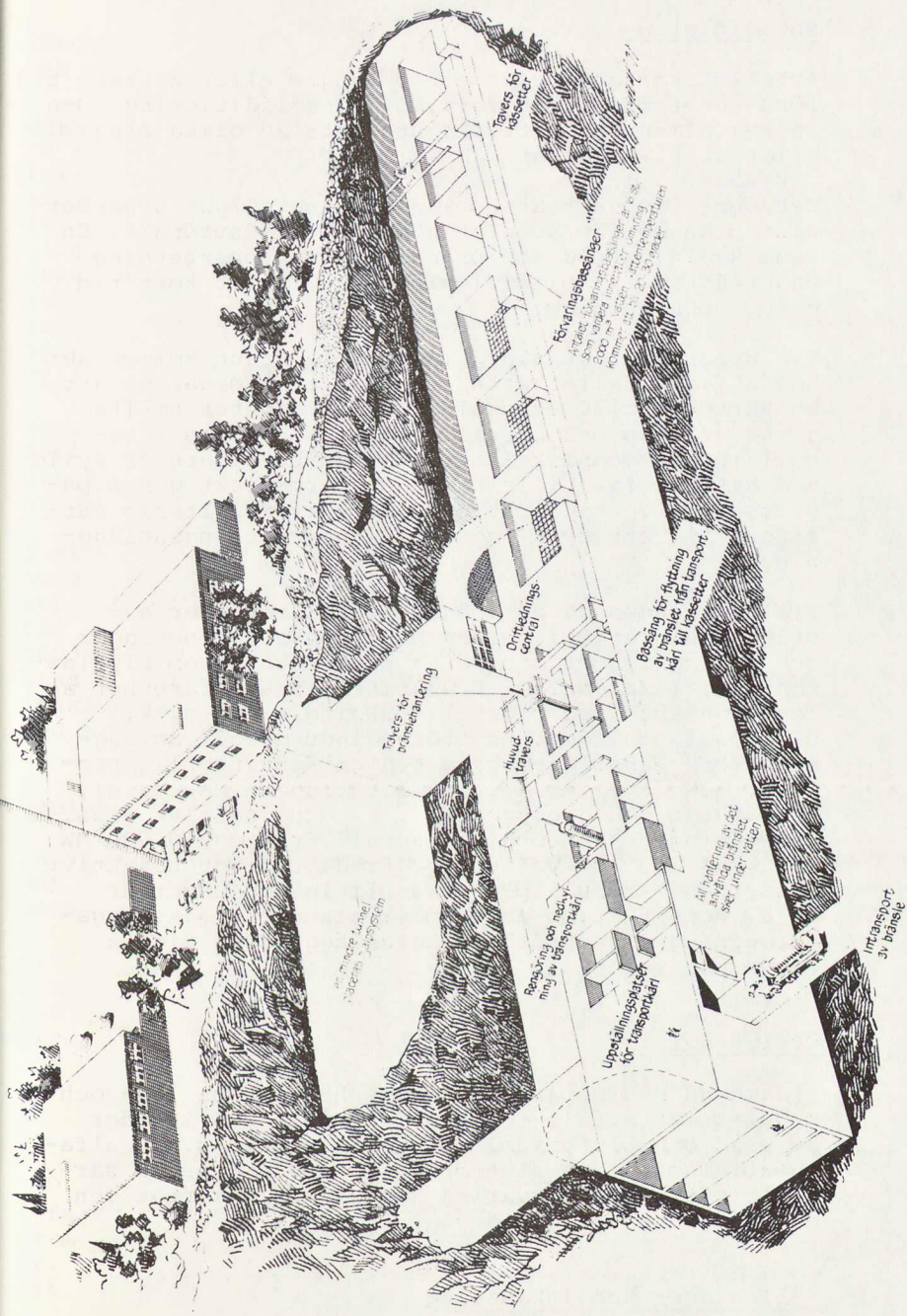
Avfall från upparbetning

Tankförvaring

Det har länge varit vanligt att högaktivt avfall från upparbetning i vattenlösning förvaras i tankar. Vissa uppmärksammade läckage i Hanford, USA, har orsakats av att tankarna utförts med endast en vägg och av tämligen enkelt kolstål. I moderna upparbetningsanläggningar utförs tankarna dubbelväggiga i rostfritt stål och förses med effektiv kylning.

Tankarna är i regel förlagda till platser med jordlager av sådan beskaffenhet att jonbyteskapacitet finns. Härmed föreligger en "säkerhetsvall" för den händelse att läckage skulle inträffa trots bemödanden att undvika detta.

Tankförvaringen kräver både kylning, kontroll och möjligheter överföra innehållet till nya tankar.



Figur 4.3 Perspektivskiss av det centrala lagret för använt bränsle.

Källa: Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning.

Solidifiering

Avfallslösningen avses efter längre eller kortare tid föras över till fast form, s. k. solidifiering. Den fasta formen har hittills utgjorts av olika slagsglas eller s. k. kalcinat.

Det vore önskvärt att solidifiering följde upparbetning utan mer än absolut nödvändig tidsutdräkt. En lång svalningstid för bränslet före upparbetning underlättar en solidifiering av avfallet kort tid efter upparbetning.

Vid upparbetningsanläggningen i La Hague kommer det högaktiva avfallet efter en tids tankförvaring att konverteras till ett kalcinat. Kalcinatet smälts därefter ihop med borsilikatglas och gjuts i behållare av kromnickelstål. När en behållare är fylld med avfallsglas tillslutes den hermetiskt genom påsvetsning av ett lock. Cylindern transporteras därefter till ett kylt lager vid upparbetningsanläggningen.

Tillverkningen av det högaktiva glaset sker avståndsmanövrerat i celler med tjocka betongväggar och med möjlighet att följa processen genom blyglasfönster. I Marcoule i Frankrike finns erfarenhet av icke-kontinuerlig glastillverkning i den s. k. PIVER-anläggningen. En större industriell anläggning för glastillverkning med en kontinuerlig process, AVM (Atelier de Vitrification de Marcoule), är färdigbyggd och provas f. n. med inaktivt glas. Anläggningen kan förglasa avfall från ca 10 000 MW kärnkraft av lättvattentyp. Produktion av högaktivt glas från Marcoule planeras bli inledd under år 1978. Konstruktion av en motsvarande förglasningsanläggning för upparbetningsanläggningen vid La Hague har inletts.

Övrigt avfall

I samband med upparbetningen erhålls även låg- och medelaktivt avfall som kan innehålla små mängder av uran och plutonium. Detta långlivade s. k. alfaavfall måste före slutförvaring prepareras på särskilt sätt. Slutförvaring kan ske på likartat men enklare sätt än för förglasat avfall.

Mellanlager och inkapsling

Huvudsyftet med mellanlagringen är att minska värmeavgivningen från avfallet och att därigenom förenkla slutförvaringen. I KBS-rapporten förutses en mellanlagringstid av 30 år under vilken värmeavgivningen minskar till ungefär hälften. Denna tid kan förlängas och den enda begränsningen är hur

länge en övervakad förvaring bedöms vara önskvärd och acceptabel.

Syftet med inkapslingen, som följer efter förvaringen i mellanlagret, är att förse det förglasade avfallet med en korrosionsbeständig och tät inneslutning före deponering i slutförvaret. Utlakning av det förglasade avfallet kan ske först sedan kapslingsmaterialet genombrutits till följd av korrosion orsakad av grundvattnet. Inkapslingen skall också utgöra en strålskärm som minskar radiolysen av grundvattnet till en ur korrosionssynpunkt försumbart låg nivå och som dessutom förenklar avfallscylindrarnas hantering.

Huvuddelen av anläggningen bör enligt KBS-rapporten förläggas under jord med ca 30 m bergtäckning för att ge skydd mot yttre påverkan såsom krigshandlingar och sabotage. Se figur 4.4.

I slutförvaret utsätts avfallskapslarna för påverkan av grundvattnet i berget. Det är därför angeläget att avfallsglaset skyddas mot utlakning under den tid avfallets farlighet, toxicitet, är mycket hög. Skyddet mot utlakning erhålls genom att avfallsglaset omges av en korrosionsbeständig kapsling. Tänkbara kapslingsmaterial är t. ex. koppar, titan med blyfoder och aluminiumoxid.

Geologiska förvar

En viktig fråga är "räckvidden" i tiden av förvaret. Här finns tre huvudfall, varav det två första är de alternativ som f. n. diskuteras.

1. Bränslet upparbetas och inkapslat förglasat avfall slutförvaras.

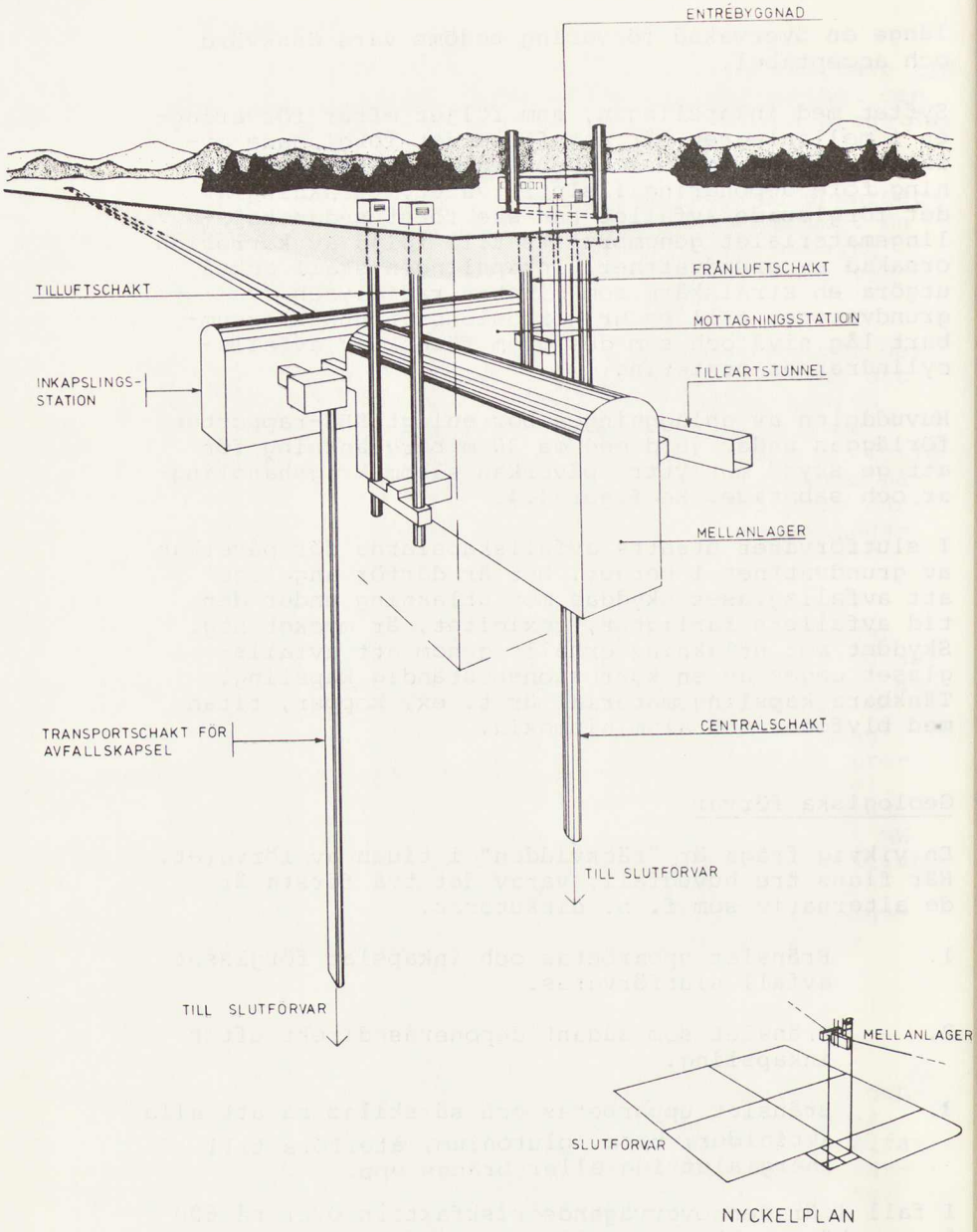
2. Bränslet som sådant deponeras direkt efter inkapsling.

3. Bränslet upparbetas och särskiljs så att alla aktinider, bl.a. plutonium, återförs till energialstring eller bränns upp.

I fall 1 är den övervägande riskfaktorn över på 600 år men hänsyn bör tas till en period av många tusen år. I detta fall måste avskilt plutonium hanteras på ett säkert sätt.

I fall 2 är räckvidden många miljoner år.

I fall 3 är risken betydelselös efter 600 år vilket med geologiska mått är en kort tid. De olika fallen ställer alltså rätt olika krav på geologiska egenskaper hos förvaret och därmed på geologiska kunskaper.



Figur 4.4 Perspektivskiss av anläggningen för mellanlagring och inkapsling. Den är belägen under jord med ca 30 m bergtäckning. Anläggningen är placerad ovanför slutförvaret.

Källa: Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning.

Möjligheterna till säker slutförvaring av högaktivt avfall i geologiska formationer har sedan länge övervägts i olika länder. Då man som regel utgått från att avfallet skall slutförvaras i det land där det producerats har olika typer av formationer aktualiserats - salt, leror, skiffrar, kristallint berg - allt efter förekomst i olika länder. För Sveriges del har intresset varit inriktat på urbergsformationer (granit, gnejs).

Vår urbergsberggrund är relativt fri från kraftigare jordbävningar. Markförskjutningar, vilka tolkats som förkastningar från ganska sen tid - 5 000-10 000 år sedan - har påvisats i vårt land, vilket gör att den faktorn måste beaktas.

Den normala sprickigheten i urberg är av varierande omfattning. Man brukar använda vattenpermeabiliteten (genomsläppligheten) som mått på ett medelvärde av sprickigheten.

Risk för nya sprickor kring ett bergrum anses finnas. KBS undersöker bl. a. i Stripagruvan i Västmanland hur man kan gå tillväga för att i möjligaste mån undvika att alstra sprickor.

Direktdeponering av använt bränsle

Vid direktdeponeringen skall det använda bränslet omhändertagas för slutförvaring utan föregående upparbetning.

Liksom i glasalternativet, och av samma skäl, förutser KBS en mellanlagring och en inkapsling före deponeringen i slutförvaret.

Liksom för glasalternativet är syftet med inkapslingen att förse bränslet med ett korrosionsbeständigt hölje som skydd mot grundvattnet i slutförvaret. För metalliska kapslingsmaterial skall kapseln dessutom ge en strålskärmning som minskar radiolysen av grundvattnet till en försumbart låg nivå.

Med hänsyn till att det använda bränslets farlighet avtar långsammare med tiden än vad som gäller för avfallet efter upparbetning är det väsentligt att utnyttja inkapslingsmaterial med mycket lång livslängd.

4.5.5 Övrigt avfall samt avfall från nedläggning av kärnkraftverk

Vid upparbetning uppkommer förutom från separerat uran och plutonium samt högaktivt avfall i lösning även s. k. kapslingsavfall och låg- och medelaktivt s. k. alfaavfall.

Kapslingsavfallet utgörs av rester av de metalldelar som utgjort en del av bränslet vid bestrålningen i reaktorn. Kapslingsrester kan komma att återsändas till Sverige efter upparbetning av svenskt bränsle vid utländska anläggningar. Resterna innehåller en avsevärd mängd långlivade radioaktiva ämnen och måste därför förvaras på ett betryggande sätt under nästan lika lång tid som det högaktiva avfallsglaset. Endast obetydligt utvecklingsarbete har genomförts beträffande förvaring av sådant avfall i svensk berggrund. Hanteringen och förvaringen torde dock kunna göras enklare än för det förglasade avfallet med hänsyn till att värmeutvecklingen är obetydlig och aktivitetsnivån är avsevärt lägre under de första tusen åren.

Det låg- och medelaktiva alfaavfallet i form av filter, jonbytarmassor, plast, papper och annat skräp, som uppkommer vid upparbetningen, avvattnas, förbränns eller förbehandlas på annat sätt varefter det förpackas. Förpackningen sker f. n. i betong eller bitumen. Utomlands förvaras avfallet nedgrävt i mark (t. ex. Marcoule) eller i saltgruva (Asse). Om lagring i Sverige blir aktuell torde förvaring i bergrum vara lämpligast.

Vid upparbetningen släpper man f. n. ut vissa radioaktiva gaser, närmligen krypton -85, viss del kol -14 i form av koldioxid samt viss del jod -129. I framtiden kan man komma att behöva fixera dessa ämnen (särskilt krypton -85 och kol -14) om uppbyggnaden av kärnkraft får stor omfattning. Metoder för sådan fixering har föreslagits men teknisk utveckling återstår. Mängderna blir dock små (kol -14) eller förvaringstiden tämligen kort (krypton -85) varför slutförvaringen inte torde innebära några större tekniska svårigheter.

Som nämnts avskiljs vid upparbetningen sådant uran som fortfarande finns kvar i det utbrända bränslet och plutonium som bildats vid bestrålningen i reaktorn. Avsikten med upparbetningen är att avskilja dessa båda ämnen för att kunna använda dem för energiproduktion i nytt kärnbränsle. Om syftet med upparbetningen inte uppnås och plutonium inte kommer att untyttjas i form av plutoniumberikat bränsle eller bränsle i bridreaktorer uppstår ytterligare ett hanterings- och lagringsproblem. Tänkbart är att klyva plutonium i särskilda reaktorer eller att överföra plutonium till en för förglasning lämplig form och slutförvara plutoniet i geologiska formationer. Sådana metoder har inte närmare studerats eftersom nyttig användning av plutonium f. n. förutses i de länder som berörs av frågan. Stora kvantiteter plutonium lagras f. n. framför allt i militära anläggningar.

Vid anrikning av natururan erhålles en rest av ut-

armat uran, dvs. uran med endast ca 0,2 % uran -235. Denna rest har mycket låg radiotoxicitet men efter några hundra tusen år bildas genom sönderfall av bl. a. uran -238 radium -226 som ger det utarmade uranet en giftighet jämförbar med giftigheten hos använt bränsle med samma ålder. Metoder för slutförvaring av utarmat uran har ej studerats. Det utarmade uranet är en potentiell energiresurs och kan utnyttjas i bridreaktorer eller för framställning av ytterligare användbara mängder uran -235 genom en process som reducerar resthalten uran -235 till ca 0,1 %. Om det utarmade uranet inte får någon kommersiell användning torde det få betraktas som ett radioaktivt tungmetallavfall.

Vid bränsletillverkning uppkommer vissa mängder radioaktivt avfall. Här skall endast beröras avfallet från tillverkning av plutoniumberikat bränsle. Sådant avfall innehåller ca 1 % av det plutonium som behandlas i anläggningen och kräver därför en kvalificerad långtidsförvaring. Utomlands används ingjutning i betong eller bitumen samt nedgrävning i mark eller förvaring i salt. Inget arbet har utförts i Sverige beträffande förvaring av sådant avfall. Om det blir aktuellt torde förvaring i urberg vara lämpligast.

Avfallslagring för aktiva komponenter och försmutsat byggnadsmaterial från nedläggning av kärnkraftverk kommer för huvuddelen av volymen att erfordras endast under en begränsad tid. Genom att rengöra försmutsat avfall kan lagringsbehovet minskas. Behov av längre tids lagring kan fordras för mindre mängder avfall, som innehåller fissionsprodukter, främst cesium och strontium, samt eventuellt från materialet i reaktortanken med interna delar. Lagringen bör kunna anordnas tillsammans med och på samma sätt som för mer långlivat avfall från driftperioden.

4.5.6 KBS-projektet

4.5.6.1 Inledning

För att uppfylla de krav lagen (1977:140) om särskilt tillstånd att tillföra kärnreaktor kärnbränsle m. m., den s. k. villkorslagen, som hänför sig till hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle eller högaktivt avfall, bildades KBS (kärnbränslesäkerhet) av de fyra kärnkraftbyggande kraftföretagen statens vattenfallsverk, Oskarshamnsverkets Kraftgrupp AB (OKG), Sydkraft AB och Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA).

Målsättningen för KBS är - uttryckt i analogi med lagtextens formuleringar -

- att visa hur en hantering och slutlig lagring av högaktivt avfall eller använt bränsle kan utformas,

- att visa var en slutlig lagring av högaktivt avfall eller använt bränsle kan förläggas, och
- att redovisa säkerheten hos föreslagna anordningar för hantering och lagring.

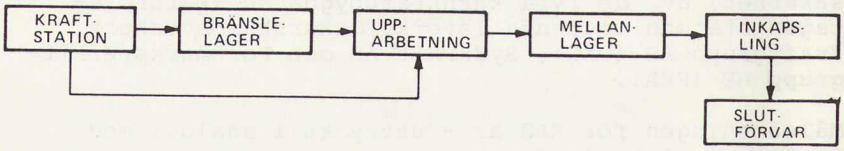
I KBS-projektet har "det vid upparbetningen erhållna högaktiva avfallet" (citat från villkorslagen § 2) definierats som

- det avfall med hög halt av klyvningsprodukter som erhålles som vattenfas vid extraktionsprocessen vid upparbetning av använt kärnbränsle.

Detta högaktiva avfall överföres till glasform och förutses bli återsänt till Sverige.

KBS-projektet bearbetar villkorslagens båda alternativ, dvs. hantering och slutlig förvaring både av förglasat avfall från upparbetat använt kärnbränsle och av icke upparbetat använt kärnbränsle, s. k. direktdeponering. KBS rapport "Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning" redovisar hantering och slutlig lagring av förglasat högaktivt avfall från upparbetning av använt kärnbränsle. Redovisningen avser anläggningar dimensionerade för en avfallsmängd som produceras av 13 kärnkraftreaktorer med drifttiden 30 år vardera. KBS framhåller att de tekniska lösningar som presenteras inte förändras principiellt om den omhändertagna avfallsmängden blir mindre eller större.

KBS planerar att ge motsvarande redovisning för hantering och slutlig förvaring av ej upparbetat använt kärnbränsle under första hälften av år 1978. En lägesredovisning för detta alternativ återfinns i bilaga till den nämnda rapporten. I detta avsnitt koncentreras redovisningen av rapportens innehåll till de delar som behandlar glastillverkning, inkapsling, slutförvar och transportsystem. Dessutom redovisas den säkerhetsanalys som KBS utfört. Slutligen refereras lägesrapporten beträffande direktdeponering. För övriga delar i den hanteringskedja som visas i figur 4.5 hänvisas till avsnitt 4.5.4.



Figur 4.5 Hantering av utbränt kärnbränsle

4.5.6.2 Förglasat avfall

Efter upparbetning förglasas avfallet i borsilikatglas.

Det förglasade avfallet kommer enligt gällande planer att anlända till Sverige ingjutet i cylindrar av kromnickelstål. Varje cylinder har en diameter av 0,4 m, en längd av 1,5 m och rymmer 150 l glas. Varje cylinder, som väger 470 kg, innehåller högaktivt avfall från upparbetning av 1 ton uran i använt bränsle. Detta innebär att halten fissionsprodukter i glaset är ca 9 viktprocent.

Enligt gällande kontrakt skall avfallscylindrarna sändas till Sverige tidigast 10 år efter det att bränslet tagits ur reaktorn.

Franska avfallsforskare koncentrerade redan tidigt sitt intresse till borsilikatglas. Atomerna i glas sitter inte i ordnade mönster som i kristallina ämnen. Glas har god förmåga att i sin struktur lösa de olika atomer av varierande storlek som förekommer i högaktivt avfall. Dessutom kan glasstrukturen anpassa sig vid de radioaktiva sönderfall som sker i ingående fissionsprodukter och aktinider som resulterar i en omvandling till nya grundämnen.

Borsilikatglas är sammansatt av kiseldioxid, natriumoxid och boroxid. Fördelarna med borsilikatglas är:

- god kemisk beständighet mot utlakning i vatten,
- god mekanisk hållfasthet vid snabba temperaturförändringar,
- låg kristallisationshastighet,
- liten förhöjning av utlakningshastigheten om glaset kristalliserar, och
- god beständighet mot strålskador.

Utlakning av borsilikatglas

Om grundvatten kommer i direkt kontakt med glas sker en mycket långsam utlakning av joner från glaset till vattnet. Utlakningshastigheten för borsilikatglas med 20 % fissionsprodukter från lättvattenreaktorbränsle har i strömmande vatten bestämts till en utlösning motsvarande 0,0003 mm glastjocklek per år eller ca 1 mm på 3 000 år. För stillastående vatten, vilket enligt KBS bättre motsvarar förhållandena i ett slutförvar, har uppmätts laknings-hastigheter som är lägre än vid dynamisk lakning. KBS förutser att borsilikatglas med endast 9 % fissionsprodukter får något lägre utlakningshastighet än glas med 20 % fissionsprodukter.

Utlakningshastigheten bedöms praktiskt taget inte påverkas av vattenkvaliteten och förvaringens tidsutdräkt medan utlakningshastigheten däremot påverkas av ändrad surhetsgrad och temperatur i omgivande vatten.

Termiska och mekaniska egenskaper hos borsilikatglas

När glaset gjutits i kromnickelstålbehållare kommer det på grund av behållarens krympning vid avsvavlingen att utsättas för tryckpåkänningar. Glasets hållfasthet mot sådan påkänning är mycket god. Vid snabb avkylning kan emellertid sprickor uppkomma i glaset. Högsta ytförstoring genom hantering och transporter har av KBS uppskattats till en faktor 10.

Inuti glaset utvecklas värme. Vid temperaturer över 550°C finns risk för att en del av glaset kristalliserar. Försök har utförts varvid högaktiva glasblock hållits vid 800°C i 100 timmar. Efter dessa försök har blocken ej spruckit och utlakningshastigheten efter värmningen visade endast liten ändring. Temperaturen i centrum av glascylindern hålls i slutförvaret enligt KBS förslag under 100°C, dvs. långt under de 550°C som kan vara kritiska.

Även vid mellanlagringen ligger centrumtemperaturen enligt förslaget under 550°C även i det fall att alla ventilationssystem skulle falla bort.

Strålbeständighet hos borsilikatglas

Strålningens inverkan på borsilikatglas har undersökts med höga doser betastrålning. Resultaten från bestrålade prover visar att varken strukturen eller lakningshastigheten förändras.

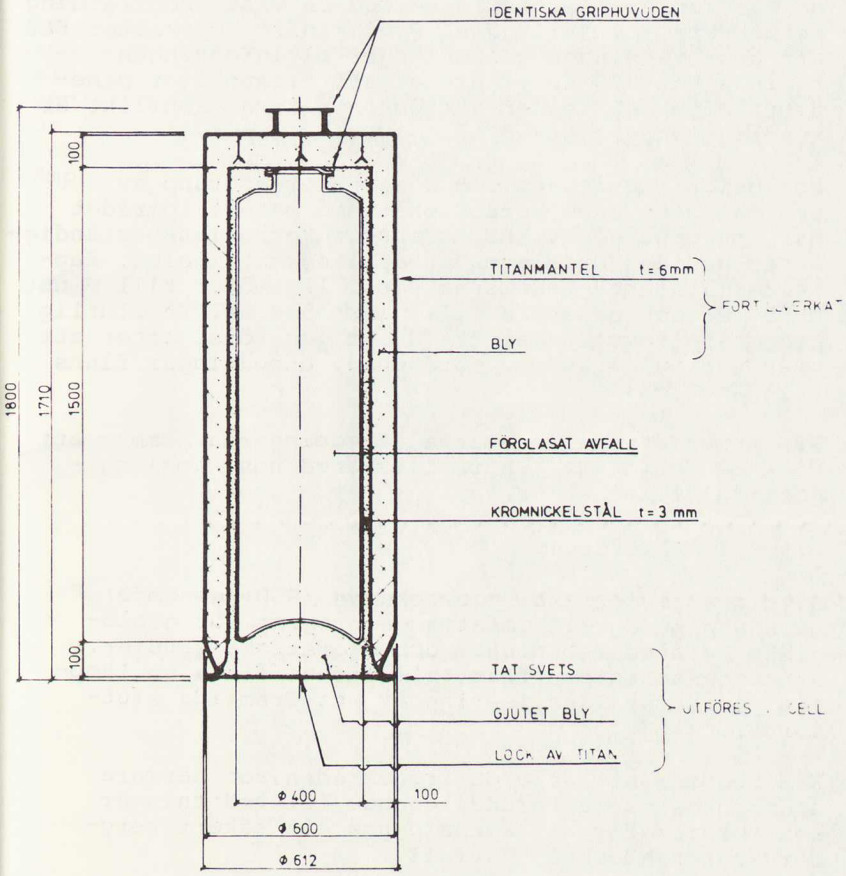
Den största risken med strålning föreligger vid alfastrålning. För att undersöka detta har alfastrålande aktinider tillsatts glas i så stor mängd att en dos motsvarande vad som erhålles under upp till 1 000 år för högaktivt glas har getts på 1-2 år. Denna typ av accelererade försök innebär ett svårare prov än lägre doshastighet under lång tid. Ändringen i mekaniska egenskaper har enligt KBS visat sig vara liten.

4.5.6.3 Inkapsling

I slutförvaret utsätts avfallskapslarna för påverkan av grundvattnet i berget. Avfallsglaset måste skyddas mot utlakning. Avfallsglaset omges därför av en korrosionsbeständig kapsling.

Den behållare av kromnickelstål i vilken det förglasade avfallet levereras från upparbetningsanläggningen tillmäts av KBS försiktigtvis inte någon nämn-

värd livslängd, utan det egentliga skyddet består av en inkapsling av bly och titan, som båda är material med en god korrosionsbeständighet. Se figur 4.6. Blyet tjänstgör också som en strålskärm som reducerar strålningsnivån och minskar radiolysen (sönderdelning under inverkan av joniserande strålning) av grundvatten till en ur korrosionssynpunkt försumbar nivå.



Figur 4.6 Bly-titankapseln. Avfallscylindern med det förglasade högaktiva avfallet inneslutet i en kapsel av bly och titan. Totalvikten blir ca 3,9 ton.

Källa: Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning.

Titanhöljets korrosionsbeständighet är helt grundad på uppkomsten av ett skyddande passiveringsskikt. Detta har under rådande förhållanden förmåga att självläka vid tillfälliga skador. Man kan enligt KBS förvänta att titanhöljet kommer att förbli intakt under mycket lång tid.

För blyet kan man bortse från allmän korrosion eftersom det skyddas av titanhöljet. Om titanet penetreras får man emellertid räkna med en viss gropfrätning på den yta som frilägges. Preliminärt uppskattar KBS att gropfrätningen genomtränger blyinfodringen tidigast ca 500 år efter det att titanhöljet penetrerats men KBS anser att denna siffra sannolikt är kraftigt underskattad.

Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp av specialister inom korrosions- och materialområdet har, på uppdrag av KBS, granskat korrosionsbeständigheten hos de föreslagna inkapslingsmaterialen. Kapselns livslängd bedöms av vissa ledamöter till minst 1 000 år och av andra till minst 500 år. En slutlig bedömning kommer emellertid att ges först efter att resultat av pågående, fördjupade utredningar finns tillgängliga[1].

KBS anser att de fortsatta utredningarna kommer att visa på betydligt längre livslängd hos kapslingsmaterialet.

4.5.6.4 Slutförvar

Sveriges geologiska undersökning (SGU) genomför på KBS uppdrag ett omfattande program för geologiska fältundersökningar och teoretiska studier. Arbetet har inte syftat till att nu finna en lämplig plats för lokalisering av ett framtida slutförvar.

KBS bedömer att alla de tre områden som närmare undersökts har de grundläggande förutsättningar som fordras för att kunna bygga ett säkert bergförvar för högaktivt avfall.

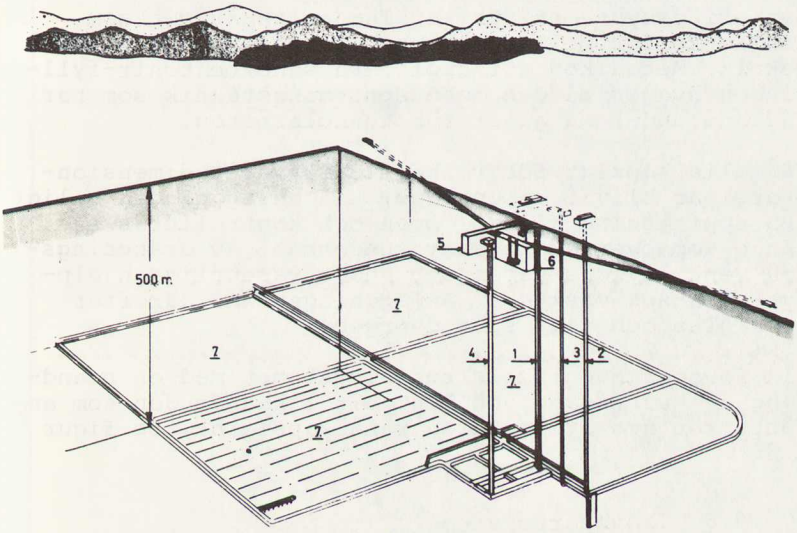
I slutförvaret tas det kapslade avfallet emot för slutlig deponering. Slutförvaret är enligt KBS förslag beläget i berg under anläggningen för mellanlagring och inkapsling på en nivå ungefär 500 m under markytan.

---

1) Som framgår av bilaga 2 anger Korrosionsinstitutet i sitt remissvar över statens vattenfallsverks ansökan om laddningstillstånd för Ringhals 3 att institutet efter fördjupat studium bedömer kapselns livslängd till "åtminstone tusentals år och sannolikt betydligt mer".

Under det att avfallet i mellanlagret förvaras torrt vilket kräver övervakning bl. a. av dräneringssystemet, så är slutförvaret avsett att förseglas och till slut överges. Det kapslade avfallet kommer därför att utsättas för påverkan av grundvattnet.

Slutförvaret består i huvudsak av ett system av parallella förvaringstunnlar med tillhörande transport- och service-tunnlar och schakt. Se figur 4.7. Slutförvaret upptar en yta av ca 1 km^2. Tunnelsystemets geometriska form kommer enligt KBS planer att anpassas till de geologiska förhållandena på den utvalda platsen. Vertikala hål borrade i förvaringstunnlarnas golv utgör den slutliga förvaringsplatsen för det kapslade avfallet. Tunnlar och schakt utförs i enlighet med de metoder som konventionellt tillämpas inom gruv- och anläggningsindustrin.



Figur 4.7 Perspektivskiss av slutförvar med anläggningen för mellanlager och inkapsling. Slutförvaret består av ett system av parallella förvaringstunnlar som är belägna 500 m under jordytan.

Källa: Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning.

Centrumavståndet mellan förvaringstunnlarna (25 m) och mellan deponeringshålen (4 m) har bestäms på grundval av bergmekaniska hänsynstaganden och effekten av värmeavgivningen från kapslarna. Med de valda avstånden blir temperaturökningen i berget maximalt 40°C. Utförda utredningar har enligt KBS visat att denna ökning inte ger upphov till nya sprickor eller nya strömningsvägar för grundvattnet, som skulle kunna påverka slutförvaringens säkerhet.

Kapseln sänks ned i deponeringshålet på en bädd av sand/bentonit varefter hålet fylls med sand/bentonit. Bentonit är ett i naturen förekommande lermaterial som sväller kraftigt då det tar upp vatten. Härigenom uppfylls kvarvarande hålrum och trycket ökar varigenom permeabiliteten i kapselns närhet blir lika låg som i det omgivande berget. Fyllnadsmaterialet ger ett skydd för kapseln för de mindre rörelser i det omgivande berget som kan tänkas ske.

Hanteringssystemet för kapslarna liknar det som tillämpas för mellanlager och är baserat på känd teknik. Metodiken att applicera sand/bentonit-fyllningen bygger på den robotsprutningsteknik som har använts under många år för tunnelarbeten.

När alla kapslar för vilka slutförvaret dimensionerats har blivit deponerade, kan anläggningen enligt KBS uppfattning hållas öppen och kontrolleras så länge som övervakning samt underhåll av dräneringsoch ventilationssystem och andra väsentliga hjälpsystem anses önskvärt. Anläggningen kan därefter förseglas och till slut överges.

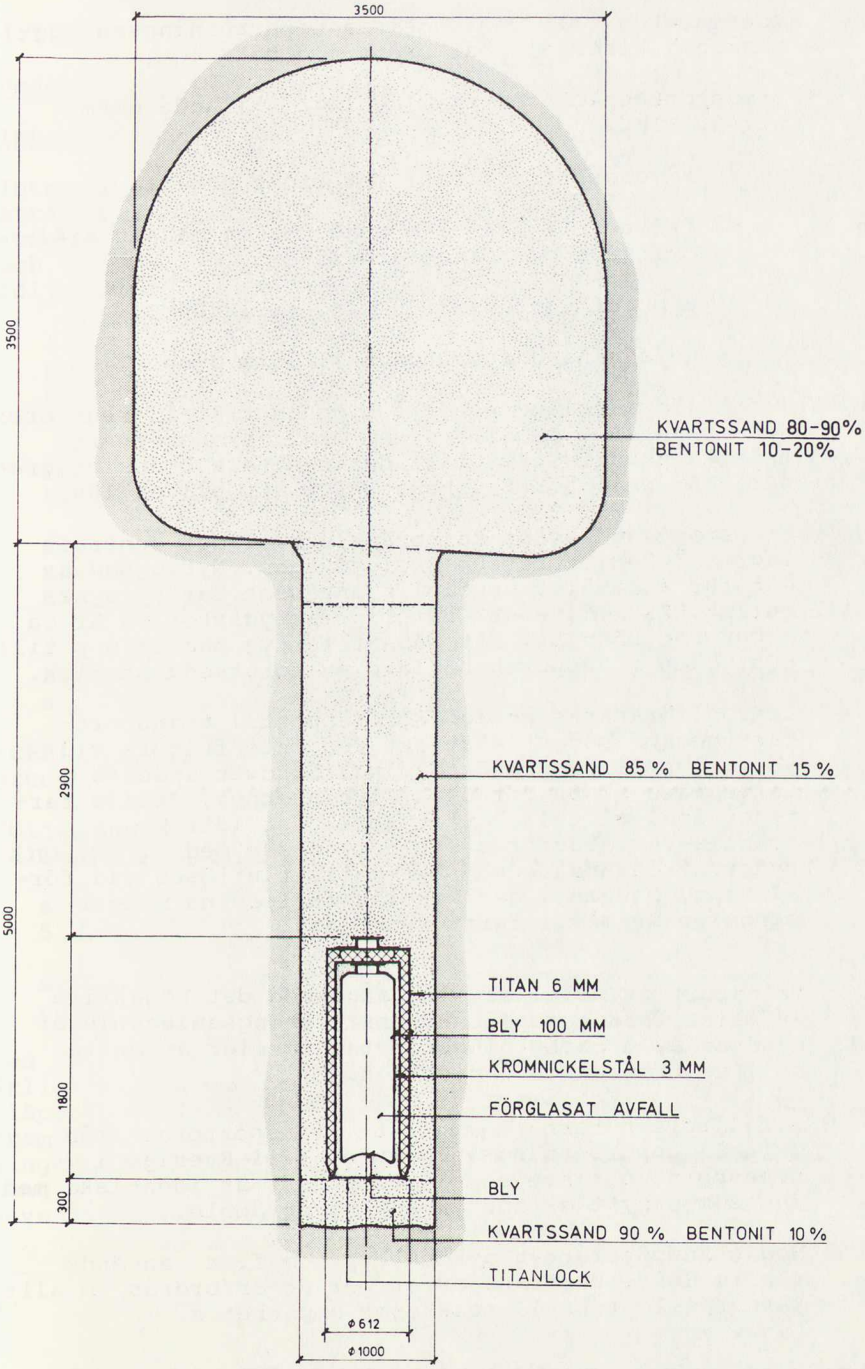
Vid förseglingen fylls tunnelsystemet med en blandning av kvartssand och bentonit liknande den som använts för att fylla hålen runt kapslarna. Se figur 4.8.

4.5.6.5 Transportsystem

Vid transport av använt kärnbränsle och annat radioaktivt material skall tillämpliga delar av IAEA:s (International Atomic Energy Agency, FN:s atomenergiorgan) transportbestämmelser iakttagas. Såväl det använda bränslet som det förglasade högaktiva avfallet innehåller så mycket radioaktiva ämnen att de skall transporteras i behållare som uppfyller internationella krav.

De europeiska transportbehållare, som nu är i bruk, väger mellan 30 och 70 ton och kan transportera mellan 1 och 2,5 ton bränsle.

Transportbehållare med en maximal vikt av 40 ton transporteras vanligtvis på det normala vägnätet, medan transportbehållare med högre vikt transporteras på järnväg. Transport av använt kärnbränsle från



Figur 4.8 Det förseglade slutförvaret.
Tunnlar och förvaringshål är helt fyllda med ett buffertmaterial, som består av kvartssand och bentonit.

Källa: Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning.

kontinenten till den engelska upparbetningsanläggningen i Windscale har skett med båt.

Transportbehållaren skall enligt gällande normer bl. a. klara

- 9-meters fritt fall mot stumt underlag,
- fritt fall från 1 m höjd mot en massiv stålcylinder med diametern 15 cm,
- upphettning under 30 min. till 800°C,
- nedsänkning i vatten till 15 m djup.

I ett jämviktsläge efter utbyggnad till 13 reaktorer kommer antalet behållare som skall transporteras från kärnkraftverken till det centrala bränslelagret varje år enligt KBS uppskattning att bli ca 100.

Transport av använt kärnbränsle till det centrala lagret (CLAB) förutses ske sjövägen. Nybyggnad av ett för ändamålet speciellt anpassat fartyg synes enligt KBS motiverat. Lämplig fartygsstorlek är ca 1 000 ton dödvikt. Ett sådant fartyg kan ta upp till 8 stycken transportbehållare av förutsedd storlek.

Lasten förankras enligt KBS rapport i transportfartyget på sådant sätt att den inte frigörs vid kollision eller grundstötning. Skrovet indelas i vattentäta skott för ökad flytsäkerhet. Skulle fartyget ändå gå till botten skall det lätt kunna lokaliseras. Därför måste det förses med t. ex. en undervattensändare som automatiskt utlöses vid förlisning. Djupen i de aktuella farlederna medger bärgning av såväl fartyg som last.

Transport av avfallscylindrarna med det högaktiva avfallet från europeiska upparbetningsanläggningar handhas av upparbetningsföretaget eller av detta anlitad transportorganisation.

Avfallscylindrarna kommer att transporteras från aktuell upparbetningsanläggning till Sverige i transportbehållare som i stort sett är identiska med dem som utnyttjas för använt kärnbränsle.

Med transportfartyg av den typ som f. n. används skulle 3 à 4 båttransporter per år erfordras om allt kärnbränsle från 13 reaktorer upparbetas.

4.5.6.6 Säkerhetsanalys

Bedömningsgrunder

Internationella rekommendationer

Internationella organisationer såsom internationella strålskyddskommissionen ICRP, Förenta nationernas atomenergiorgan IAEA, Världshälsoorganisationen WHO och OECD:s kärnenergiorgan NEA är eniga om följande grundläggande principer:

- Ingen verksamhet, som medför bestrålning av personal eller befolkning, skall accepteras förrän den kan visas innebära större fördelar än nackdelar från samhällets synpunkt
- Verksamheten måste vara försvarbar med hänsyn till strålriskerna
- Alla stråldoser skall hållas så låga som kan anses rimligt med hänsyn till ekonomiska och samhälleliga överväganden
- Ingen individ skall erhålla stråldoser, som överskrider av ICRP rekommenderade dosgränser, vare sig nu eller i framtiden.

ICRP:s gällande rekommendationer har legat till grund för arbetet i KBS-projektet.

Följande gränser avseende högsta tillåtna stråldos gäller:

- stråldos till personal i radiologiskt arbete 5 rem per år
- stråldos till individer av befolkningen 0,5 rem (500 mrem) per år[1].

Med begreppet dosinteckning avses summan av de årliga stråldoserna som är resultaten av ett års utsläpp. Det innebär att den årliga stråldosen i ett framtida tänkt jämviktsläge är lika med dosinteckningen från ett års utsläpp. Man kan med dosinteckning även redovisa den totala dosbelastningen från haveriutsläpp.

---

1) Strålskyddsinstitutet (SSI) har i sitt remissvar över statens vattenfallsverks ansökan om laddningstillstånd för Ringhals 3 påpekat att för individer som under lång tid utsätts för strålning är gränsvärdet 0,1 rem (100 mrem) per år. Detta värde bör gälla i detta sammanhang.

Begreppet kollektivdos avser summan av alla individers doser inom en viss befolkning. Syftet med att sätta en gräns för kollektivdosen är att begränsa den framtida medeldosen - och därmed antalet skadefall - med en fullt utbyggd kärnkraftsindustri.

Svenska strålskyddsnormer

Nya föreskrifter avseende utsläpp av radioaktiva ämnen från kärnkraftverk har under år 1977 fastställts av regeringen efter förslag från statens strålskyddsinstitut. De kommer att tillämpas från år 1981. Till dess gäller övergångsbestämmelser.

I de svenska föreskrifter som kommer att tillämpas från år 1981 anges gränsvärden för helkroppsdos till närboende och kollektivdos till hela befolkningen. Värden som kommer att gälla är:

- summan av den viktade helkroppsdosen till närboende bör underskrida 10 mrem per år
- den globala viktade kollektivdosinteckningen bör underskrida 0,5 manrem per år och MW installerad elektrisk effekt (MWe).

Dessa bestämmelser innebär en väsentlig skärpning i förhållande till tidigare. De har valts efter en bedömning av vad som i dag utgör den lägsta dosbelastningen som är praktiskt rimlig att uppnå.

Om dessa krav uppfylls är akuta skador till någon individ helt uteslutna. Referensvärdet 10 mrem per år ger ett tillskott till den normala strålmiljön som är mindre än 10 %.

Bedömningsgrunder avseende slutförvaring

Säkerhetskriterier för slutlig förvaring har inte fastställts men i flera länder och i internationell samverkan pågår arbete inom detta område.

För slutförvaret måste särskilt beaktas ICRP:s regel att ingen individ vare sig nu eller i framtiden skall erhålla stråldoser som överstiger de av ICRP rekommenderade dosgränserna. F. n. gäller därvid för individer 500 mrem/år[1] från all verksamhet som kan ge bestrålning med undantag av medicinsk strålning. På

---

1) Se not på föregående sida.

basis av överväganden om tekniskt möjliga och kostnadsmässiga rimliga insatser å ena sidan och förbättrat skydd å den andra har nationella bestämmelser utfärdats för kärnkraftverken i storleken 10--50 mrem/år för närboende.

En spridning av radioaktiva ämnen från ett slutförvar skall alltså för all framtid högst ge någon bråkdel av 500 mrem/år[1] och person till närboende. Därutöver skall gälla den vanliga regeln att alla åtgärder som är socialt och ekonomiskt försvarbara skall vidtagas om de minskar dosbelastningen.

För att på lång sikt skydda stora befolkningsgrupper mot genetiska effekter bör även en regel om begränsning av kollektivdoser tillämpas, liknande den som nu gäller för kärnkraftverk.

Sverige och de övriga nordiska länderna har här gått i spetsen för en regel som för kärnkraften i sin helhet anger en dosbegränsning per effektenhet, nämligen 1 manrem/MWe år. Eftersom 0,5 manrem/MWe år avsatts för driften av kärnkraftverk återstår 0,5 manrem/MWe år för övriga delar av bränslecykeln inklusive slutförvaret. Bakom valet av nivån 1 manrem/MWe år ligger bl. a. målsättningen om en maximal helkroppsdos på 10 mrem/år och person.

Människans nuvarande strålmiljö

Radioaktiva ämnen förekommer i naturen och joniserande strålning från dessa ger en del av den naturliga bakgrundsstrålningen.

Den i naturen förekommande bakgrundsstrålningen orsakas av kosmisk strålning, strålning från radioaktiva ämnen i berggrunden samt strålning från radioaktiva ämnen som tagits upp i kroppen. Den naturliga bakgrundsstrålningen i Sverige är mellan 70 och 140 mrem/år. Det naturliga upptaget i kroppen av kalium -40, uran, torium och radium med dotterprodukter ger i Sverige en genomsnittlig dos av 20 mrem/år.

De flesta, båda naturliga och framställda, produkter i vår omgivning är svagt radioaktiva. KBS nämner som exempel att dricksvatten i Sverige beräknas ge doser mellan 1-400 mrem/år.

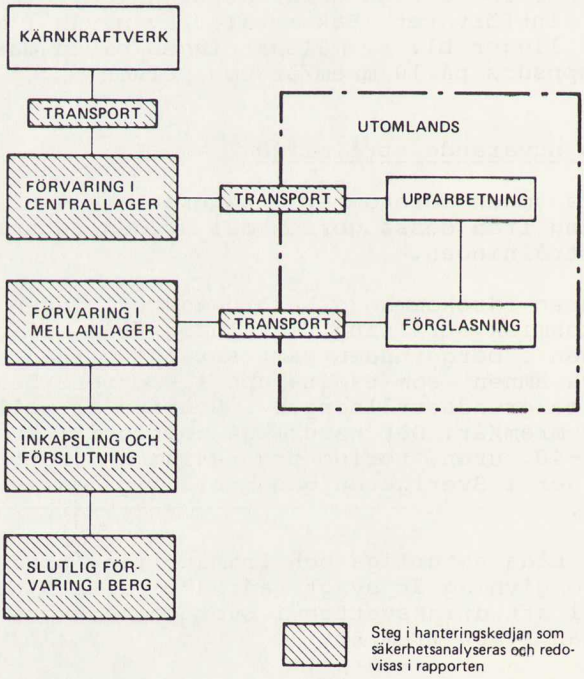
Säkerhet vid hantering, lagring och transporter

Hanteringssteg och metodik

Följande hanteringssteg behandlas (se figur 4.9):

1) Se not på sid 139

- Transport av använda bränsleelement från kärnkraftverk till ett centrallager.
- Mottagning och lagring i centrallagret under ca 10 år.
- Uttag av använt bränsle från centrallagret och transport till utländsk anläggning för upparbetning, där förglasning av det högaktiva avfallet sker.
- Återtransport av förglasat avfall till inhemskt mellanlager.
- Lagring av avfallet under ca 30 år i mellanlagret.
- Inkapsling av det förglasade avfallet i kapslar av titan och bly.
- Deponering av det kapslade avfallet i bergförvar ca 500 m ner i urberget tidigast ca 40 år efter uttag av använt bränsle ur reaktorn.



Figur 4.9 Hanteringskedja för lagring av använt bränsle och förglasat avfall

Centralt lager för använt bränsle (CLAB)

Anläggningen konstrueras med särskild inriktning på att

- hålla dosbelastningen på personalen så låg som möjligt
- förhindra frigörelse av radioaktiva ämnen som skulle kunna spridas till omgivningen.

Den radiologiska säkerheten för personalen beaktas genom ett flertal åtgärder, t. ex.

- Rikligt dimensionerande strålskärmar bl. a. i form av betongväggar och vatten.
- Mätutrustning för kontroll av direktstrålning och luftburen aktivitet.
- Avståndsmanövrering av aktiva komponenter och system.
- Doskontroll på personal.

Förvaringsbassängerna förläggs under marknivå med 30 m bergtäckning, vilket enligt KBS ger det lagrade bränslet ett effektivt skydd mot yttre påverkan.

Förvaringsbassängerna utformas enligt förslaget som fristående, tjockväggiga enheter invändigt klädda med rostfri plåt med möjlighet till snabb upptäckt av eventuellt läckage.

Bassängerna saknar röranslutningar på låg nivå. Därigenom förhindras oavsiktlig tömning av bassängerna. Kylsystemet är utformat för att normalt kunna hålla vattentemperaturen vid 25-30°C och vid enstaka komponentfel under 50°C. Om yttre kylning skulle falla bort helt trots dubblerade komponenter och reservkraftsystem, stiger temperaturen i bassängvattnet. Om inga motåtgärder skulle vidtagas dröjer det mer än en vecka innan bassängerna kan uppnå kokpunkten. Kylning av bränslet kan dock upprätthållas genom spädmatning varför bränslet enligt KBS ej kommer att skadas på grund av friläggning.

Bränslegeometrin i bassängerna har kriticitetsberäknats. KBS beräkningar visar en god marginal mot kriticitet även för obestrålat bränsle. Det är enligt KBS osannolikt att bränslet genom någon olyckshändelse skulle omfördelas till en geometri med högre reaktivitet än vid normal lagring. Då bränslet i centrallagret är utbränt behöver man enligt KBS inte räkna med risk för kritisk geometri.

Många års erfarenheter finns från lagring av använt bränsle i vattenbassänger. Normalutsläppen till om-

givningen beräknas bli mycket små och ger enligt KBS helt obetydliga stråldoser till närboende (i storleksordningen 0,1 millirem/år).

Centrallagret har utformats på sådant sätt att sannolikheten för större haverier enligt KBS bedömning nedbringats till mycket låga värden. De olyckshändelser som trots detta kan tänkas inträffa inskränker sig enligt KBS till missöden med måttlig frigörelse av aktivitet.

Följande missöden har analyserats med avseende på konsekvens och sannolikhet:

- Transportbehållare tappas
- Bränslekassett eller andra föremål tappas
- Bränsleelement tappas

Sammanfattningsvis innebär dessa enligt KBS beräkningar en frigörelse av aktivitet som ger stråldoser mindre än 0,1 millirem. Sannolikheten för de största utsläppen beräknar KBS till ca 0,0004 per år.

Ett centralt lager för använt kärnbränsle medför således enligt KBS försumbara strålningsrisker i omgivningen.

Transport av använt bränsle och förglasat, högaktivt avfall

I avsnitt 4.5.6.5 berörs de bränslebehållare som avses komma att användas. Där beskrivs även det fartyg som planerats komma att användas för sjötransporter.

Iakttagelser från såväl inträffade transportolyckor som särskilda kollisionsprov i full skala visar enligt KBS att transportbehållarna i verkligheten klarar ännu större påfrestningar än de som anges i provningsbestämmelserna. För att undersöka potentiella konsekvenser för omgivningen vid olika transporthaverier har KBS antagit att behållarna i sällsynta fall kan skadas.

De haverityper som KBS behandlat är:

1) Transportbehållaren tappas vid lastning eller lossning
2) Grundstötning och förlisning
3) Fartygskollision
4) Långvarig brand ombord
5) Kollision och brand ombord
6) Trailerkollision med och utan brand.

Det svåraste fallet är en fartygskollision med brand ombord. Sannolikheten för ett sådant haveri har KBS beräknat till $3 \cdot 10^{-6}$ per år (tre miljondelar per år).

Säkerhetsanalysen visar enligt KBS uppfattning att transporter av använt kärnbränsle innebär mycket små risker för utsläpp av radioaktiva ämnen. Även i extrema fall blir enligt KBS konsekvenserna av tänkbara utsläpp ringa.

Mellanlagring, inkapsling och deponering av förglasat avfall

Anläggningen för mellanlagring är konstruerad på basis av erfarenheter från Marcoule-anläggningen i Frankrike. Motsvarande konstruktionskriterier som för centrallagret för bränsle har använts. Säkerhetskraven har varit i hög grad styrande vid utformningen.

Den viktigaste säkerhetsåtgärden är att upprätthålla kylning av lagringsdelen. Normalt sker kylningen med två parallellkopplade fläktar. En tredje fläkt kan kopplas in vid behov. Dessutom finns en fjärde fläkt ovan jord. Fläktarnas elförsörjning är säkrad med dieselaggregat. Normalt blir utgående lufttemperatur ca 80°C. Vid bortfall av en fläkt kopplas reservfläkt automatiskt in. Vid kylning med enbart en fläkt stiger temperaturen till ca 110°C efter 40 timmar. Skulle i ett extremfall samtliga fläktar falla bort tillåter en förbiledning med ett automatiskt spjäll luften att cirkulera med naturlig konvektion. Temperaturen stiger då till maximalt ca 340°C, vilket uppnås efter 40 timmar. Detta leder enligt KBS inte till aktivitetsfrigörelse.

Efter ca 30 års lagring lyfts enligt KBS modell avfallscylindrarna upp ur sina lagringspositioner och överförs i en transporthuv till en cell för inkapsling. En blymantel med titanhölje sätts över cylinderna och bly insmälts i spalten mellan manteln och glasets stålhölje. Det hela tillslutes med ett titanlock som tätsvetsas. Inkapslingen utförs i sin helhet genom fjärrmanövrering.

Radioaktiva ämnen i högaktivt avfallsglas

Det förglasade högaktiva avfallet innehåller som redan nämnts nästan hela mängden klyvningsprodukter och transuraner utom plutonium. På samma sätt som i AKA-utredningen har KBS antagit, att 0,1 % av uran och 0,5 % av plutonium i det använda bränslet kommer att återfinnas i det högaktiva avfallet.

Det bör noteras att separationen av plutonium från uran samt utfällningen och konverteringen av dessa ämnen medför ytterligare förluster av uran och plutonium. Dessa förluster återfinnes i låg- och medelaktivt avfall och är normalt något större än de mängder som finns i det högaktiva avfallet. Enligt garantier från upparbetningsföretaget blir de sammanlagda förlusterna maximalt 3 % plutonium och 2 % uran. Erfarenhetsmässigt erhålles enligt KBS lägre förluster.

De viktigaste klyvningsprodukterna i det högaktiva avfallet med avseende på den slutliga förvaringen är de med långa och mycket långa halveringstider.

Framför allt strontium -90 och cesium -137 är viktiga för säkerhetsbedömningen under de första 500 à 1 000 åren efter påbörjad slutförvaring. För den mycket långsiktiga bedömningen är särskilt teknetium -99, jod -129 och cesium -135 av intresse.

Säkerhet vid slutförvaring

För att uppnå en säker slutförvaring av det högaktiva avfallet omges de radioaktiva ämnena enligt KBS förslag med ett antal successiva barriärer

- kemisk bindning till svårlösligt borsilikatglas.
- inkapsling av glaset i flera metallhöljen
- förvaring av de inkapslade avfallscylindrarna i bra berg på 500 m djup.

KBS framhåller att var och en av dessa barriärer ger skydd mot spridning. De har emellertid olika skyddsegenskaper och därmed också skyddsfunktioner som både förstärker och kompletterar varandra.

Man kan i princip särskilja

- Långsamma förlopp
- Extrema händelser som medför plötslig spridning av radioaktiva ämnen.

Faktorer som inverkar vid långsam spridning av radioaktiva ämnen

Analysen av den långsamma spridningen innefattar en kedja beräkningar avseende olika fenomen. För att det slutliga beräkningsresultatet skall avspegla den mest ogynnsamma situation, som kan tänkas bli aktuell, har förutsättningar och data i flera led valts med en enligt KBS uppfattning betydande säkerhetsmarginal. Allteftersom säkrare kunskapsunderlag

blir tillgängligt anser KBS att dessa marginaler kan minskas. I den i KBS rapporten redovisade analysen har enligt KBS flera stora säkerhetsmarginaler staplats på varandra. Det beräknade slutresultatet ger därför en bild, som enligt KBS bedömning är flera storleksordningar ogynnsammare än vad som kan komma att inträffa i verkligheten.

För att långsam spridning av de radioaktiva ämnena överhuvudtaget skall vara möjlig krävs att den metalliska inkapslingen av glaskropparna skadas på något sätt så att vatten kommer i kontakt med avfallsglaset. Om detta sker börjar en långsam utlakning av glaset.

Kapselskada

Två fall av kapselskada har studerats i säkerhetsanalysen, nämligen dels att en kapsel är skadad redan vid deponeringen, dels en långsam förstöring av kapseln genom korrosion.

Sannolikheten för initial kapselskada bedöms av KBS vara väsentligt lägre än en per 10 000 kapslar. Totala antalet kapslar blir ca 10 000.

Som ett huvudfall studerar KBS fallet med en skadad kapsel i slutförvaret. Denna enstaka avfallskropp behandlas i analysen som om den vore okapslad och hela glasytan vore tillgänglig för lakning. Detta fall motsvarar således även fel på ett flertal kapslar med en del av glasytan frilagd. Fall med flera än några enstaka initialt skadade kapslar bedömer KBS som så osannolika att de ej behöver beaktas.

Frågan om kapselns livslängd diskuteras bl. a. i en rapport som utarbetats av Korrosionsinstitutet och en särskilt utsedd referensgrupp. Vissa ledamöter i denna referensgrupp bedömer den tid som kapseln är helt tät till minst 1 000 år medan andra bedömer livslängden till minst 500 år.

KBS har inte haft möjlighet att göra en systematisk analys av hur lång tid det kan väntas dröja innan hela glaskroppen friläggs efter det att kapseln blivit otät. KBS överväganden om tiden för allmänkorrosion av titan och om korrosionshastigheten för bly i förhållande till den totala blymängden per kapsel leder till att det sannolikt tar 10 000-tals eller 100 000-tals år.

I brist på precist underlag har KBS antagit att kapslarna bryts ner successivt redan under tiden 1 000 till 6 000 år efter påbörjad slutförvaring.

Beräkningar visar att det är relativt sett ganska betydelselöst för den totala riskbedömningen om kapslens livslängd sätts till minst 500 år eller minst

1 000 år, eftersom andra faktorer t. ex. transporttiden för utlösta ämnen har avsevärt större betydelse för säkerheten.

Glasutlakning

Om vatten kommer i kontakt med avfallsglas sker en mycket långsam utlakning av de ämnen som finns i glaset. Utlakningshastigheten beror av ett flertal faktorer av vilka de viktigaste är glasets sammansättning, temperaturen, den yta som vattnet kommer i kontakt med samt vattenomsättningen. Andra faktorer som kan vara av betydelse är de kemiska förhållandena och förändringar i glasets struktur på grund av joniserande strålning från radioaktiva ämnen eller på grund av variationer i tillverkningen av glaset.

Med vissa värden på lakad yta och lakningshastighet beräknar KBS att en fullständig upplösning av glaset kan ske på ca 60 000 år. I säkerhetsanalysen har för det ena huvudfallet använts en glaslakningstid på 30 000 år.

För fallet initialt skadad kapsel använder KBS en glasutlakningstid på 3 000 år.

Vid slutförvaringen placeras avfallsglaset omgivet av ett buffertmaterial i ett berg, där vattengenomströmningen är mycket låg. De geologiska undersökningarna har enligt KBS visat att 0,1 à 0,2 liter per m^2 och år är troligt. I en sådan miljö kommer utlakningshastigheten att begränsas av tillgången på vatten. Underlaget för en noggrann analys av utlakningen av radioaktiva ämnen från glaset under dessa omständigheter är begränsat. KBS preliminära överväganden antyder 100 gånger lägre lakningshastighet än de ovan angivna.

Transporttiden för utlösta ämnen

De radioaktiva ämnenas transporttid genom bergmassan från slutförvaret till biosfären beror av två faktorer. Den ena faktorn är den tid det tar för vattnet att strömma från slutförvaret till primärrecipienten. Denna tid varierar starkt beroende på lokala förhållanden och egenskaperna hos det aktuella berget. Utförda åldersbestämningar för grundvatten antyder enligt KBS strömningstider på flera tusen år från ett lämpligt placerat slutförvar. I de beräkningar som utförts för säkerhetsanalysen har KBS använt en transporttid för grundvattnet på 400 år i tätt berg.

Den andra faktorn som bestämmer de radioaktiva ämnenas transporttid är den fördröjning som erhålles genom kemiska reaktioner mellan dessa ämnen och buf-

fertmaterialet och bergmaterialet. Olika typer av kemiska reaktioner förekommer, framför allt jonbytesprocesser, jonadsorption, omvändbar (reversibel) utfällning och mineralisering. Gemensamt benämns dessa processer sorption.

Fördröjningsfaktorer för vissa radioaktiva ämnen har KBS antagit vara följande:

Ämne	Tätt berg	Otätt berg
Strontium	57	7
Zirkonium	8 400	450
Teknetium	1	1
Jod	1	1
Cesium	840	90
Radium	700	76
Torium	5 200	280
Uran	43	3
Neptunium	260	15
Plutonium	1 100	58
Americium	84 000	4 500

Fördröjningsfaktorn 1 innebär att ämnet rör sig med samma hastighet som vatten medan t. ex. faktorn 700 innebär att det tar 700 gånger så lång tid för ämnet som för vattnet att förflyttas samma sträcka.

Primärrecipient

Spridning av de radioaktiva ämnena genom de olika barriärerna (kapsel, buffertmaterial, berg) kan så småningom leda till kontakt med biosfären. Eftersom spridning sker med grundvattnet nås en sådan kontakt primärt i en vattenrecipient.

KBS har studerat tre huvudfall av primärrecipient:

- djupborrad brunn i närheten av slutförvaret
- insjö i närheten av slutförvaret
- Östersjön.

De årligen utlakade mängderna radioaktiva ämnen som når primärrecipienten kommer att spädas ut i en relativt stor volym vatten.

När de radioaktiva ämnena kommit fram till biosfären via primärrecipienterna kan de nå människan på i huvudsak två olika vägar, nämligen dels genom föda och vatten, dels genom inandning. Så länge de sedan finns kvar i kroppen kan de förorsaka s. k. intern bestrålning. Kunskap om de radioaktiva ämnenas transport och anrikning i näringskedjorna är därför av stor betydelse för att kunna beräkna dosbelastningen på människan.

Konsekvenser av långsam spridning av radioaktiva ämnen

KBS har analyserat konsekvenserna av en långsam spridning av de radioaktiva ämnena i ett fall med följande förutsättningar:

- kapslingen på avfallsbehållarna går sönder efter 1 000 år och alla kroppar av avfallsglas är helt exponerade för grundvatten efter ytterligare 5 000 år
- glaset lakas ut med en hastighet som innebär fullständig upplösning på 30 000 år
- vattnets transporttid i tätt berg från slutförvaret till inflöde i biosfären är 400 år
- vid de radioaktiva ämnenas transport genom berget fördröjs de på det sätt som angivits tidigare.

Dessa förutsättningar inrymmer enligt KBS ett flertal försiktiga antaganden som leder till en överskattning av de beräknade stråldoserna.

Högsta stråldosen i rem till en människa för en 30-årsperiod har beräknats som funktion av tiden efter slutförvaringens påbörjande. Perioden 30 år har KBS valt enligt en vanligt förekommande praxis att räkna detta som en generation.

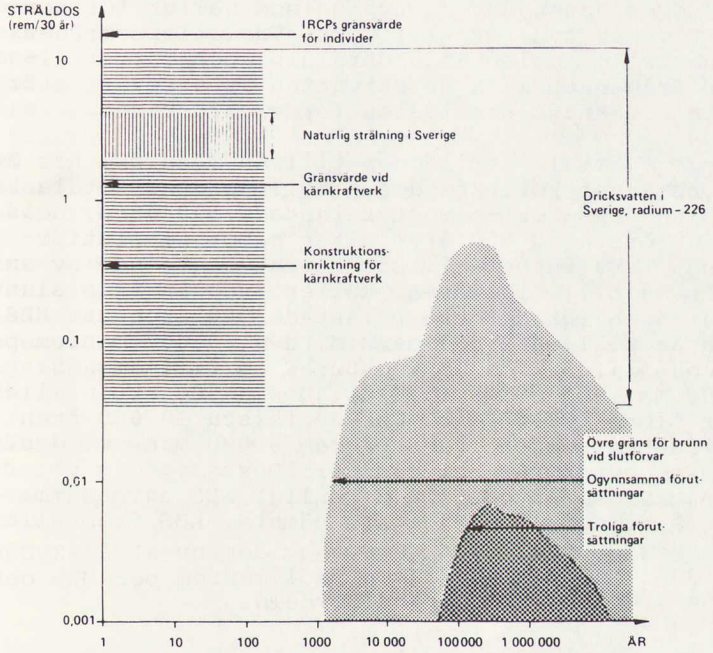
En jämförelse mellan beräknade maximala individdoser för fallen brunn, insjö och Östersjön som primär inflödeskälla i biosfären visar enligt KBS att brunnsfallet ger ca 15 gånger högre maximala doser än insjöfallet och ca 1 500 gånger högre värden än Östersjöfallet.

Enligt KBS uppträder inga stråldoser förrän efter mer än 1 000 år beroende på att inkapslingen i blytitan är tät i minst 1 000 år och att transporttiden för vatten är 400 år.

En jämförelse mellan långsam nedbrytning av inkapslingen och en initialt skadad kapsel visar enligt KBS att det senare fallet ger vissa låga stråldoser som uppträder efter ca 200 år. I övrigt är det helt

underordnat det förstnämnda fallet.

Eftersom alternativet med en brunn som primärrecipient ger de högsta stråldoserna blir övriga alternativ av mindre intresse vid diskussion av maximala konsekvenser för individer. Som tidigare nämnts har enligt KBS uppfattning data och förutsättningar i beräkningskedjan valts med säkerhetsmarginaler, som i vissa fall är betydande. Detta leder till stråldoser som anges av den övre kurvan i figur 4.10. Om man i stället väljer förutsättningar och data som KBS bedömer mer realistiska leder beräkningarna till stråldoser som ligger inom det område som begränsas av kurvan "troliga förutsättningar" i figur 4.10.



Figur 4.10 Beräknad övre gräns för stråldoser till människa som bor nära slutförvaret (kritisk grupp). Beräkningarna gäller långsam nedbrytning av kapslarna med en brunn som primär recipient. Som jämförelse har dosbelastningen från några naturliga strålkällor och några fastställda dosgränser lagts in i diagrammet[1].

---

1) Med hänsyn till noten på sid.139 bör markeringen för "ICRPs gränsvärde för individer" ligga vid 3 rem/30 år.

I samma figur anges som jämförelse även de normalvärden som gäller för kärnkraftverk. Vidare visas variationsområdet dels för naturlig joniserande strålning i Sverige, dels för de stråldoser som kan erhållas från naturliga dricksvatten i Sverige. De senare har KBS beräknat på basis av uppmätta halter av radium -226 och med användande av samma dosomvandlingsfaktorer som i övriga beräkningar.

KBS framhåller att enligt figuren ligger de beräknade stråldoserna från radioaktiva ämnen som kan läcka ut från slutförvaret - även med stora säkerhetsmarginaler i beräkningarna - avsevärt under det gränsvärde som rekommenderas av den internationella strålskyddsorganisationen ICRP. Det är också klart lägre än det värde som tillämpas för kärnkraftverk i Sverige men överstiger något det riktvärde som gäller för konstruktion av nya kärnkraftverk. Variationsområden för naturlig joniserande strålning och för stråldoser från naturliga dricksvatten är avsevärt större än den beräknade stråldosen för slutförvaret.

Förutom maximala stråldosen till en människa har KBS även beräknat kollektivdosen till jordens totala befolkning dels för de mest belastade 500 åren, dels för de första 10 000 åren efter påbörjad slutförvaring. Resultaten är i stort sett oberoende av inflödesväg till biosfären. Kollektivdosen från slutförvaringen för de mest belastade 500 åren har KBS beräknat till ca 2 000 manrem, dvs. 0,007 manrem per MWe och driftår för 13 reaktorer om tillsammans 10 000 MWe som drivs i 30 år. Dessa 500 år infaller efter flera 100 000 år. För de första 10 000 åren erhålles en kollektivdos på ca 30 000 manrem, dvs. 0,1 manrem per MWe och driftår. Dessa värden på kollektivdoser bygger på de enligt KBS ogynnsamma förutsättningar som tidigare nämnts. KBS framhåller att båda värdena klart ryms inom den av strålskyddsmyndigheterna angivna ramen på 1 manrem per MWe och driftår för hela kärnbränslecykeln.

Konsekvenser av extrema händelser

Vissa typer av extrema händelser kan tänkas påverka spridningen av radioaktiva ämnen från ett slutförvar. Sådana extrema händelser är t. ex. rörelser i berggrunden i samband med istider, jordbävningar eller annan uppkomst av nya sprickor. Andra händelser inom denna kategori är meteoritnedslag, krigshandlingar, sabotage eller någon form av framtida mänskliga ingrepp.

Bergrörelser, jordbävningar

Berggrundrörelser skulle kunna skada ett slutförvar, dels genom att skapa nya vägar för grundvattenströmningen, dels genom att skada kapslarna. Begränsade

skador på kapslarna ändrar dock enligt KBS inte förutsättningarna för säkerhetsanalysen nämnvärt eftersom ett fall med initial kapselskada har beaktats.

Ett flertal utredningar har genomförts i syfte att belysa sannolikheten för sådana berggrundrörelser, som kan påverka säkerheten hos ett slutförvar.

KBS framhåller att den seismiska aktiviteten i Sverige är mycket låg och det är få jordbävningar, som givit upphov till skador på markytan.

De förkastningar som iakttagits i den svenska berggrunden är väsentligen resultatet av omkring 1 800 miljoner års tektoniska och seismiska händelser, där rörelsen under perioder på 1 000-tals år är av storleken några mm. Inom områden med speciella rörelsezoner har dock större förkastningsrörelser iakttagits. Några fall av sentida och snabbare förkastningsrörelser har observerats och redovisats, exempelvis i nordvästra Skåne och Norrbotten. Den landhöjning som följde på inlandsisens avsmältning och fortfarande pågår torde enligt KBS vara den primära orsaken till dessa sentida berggrundrörelser.

Utredningar rörande förekomsten av jordbävningar i Sverige visar att dessa har varit koncentrerade till vissa bälten. Utanför dessa bälten finns stora områden, där någon seismisk aktivitet inte observerats. Magnituder över 3,5 är sällsynta även inom de mest aktiva områdena.

KBS har uppskattat följande samband mellan magnitud och förskjutning:

Magnitud	Förskjutning, cm
3,5	0,3
4,0	0,6
4,5	1,5
5,0	3,6

Den svenska berggrunden uppvisar ett mönster av sprickzoner av olika storlek. Geologiska observationer visar enligt KBS att nya sprickor och förkastningar kommer att lokaliseras till äldre befintliga svaghetszoner.

Sannolikheten att ett slutförvar av 1 km^2 storlek skall beröras av en förkastningsrörelse bedömer KBS vara mindre än 10^{-9} per år för landet i sin helhet.

Det har vidare enligt KBS visats att vertikala bergförskjutningar måste vara flera dm för att lermaterialets tätande förmåga skall äventyras. På-

känningarna i kapselmaterialet kan dock bli betydande redan vid förskjutningar på några cm.

Sammanfattningsvis har av KBS genomförda studier av berggrundsrörelser som menligt kan påverka säkerheten enligt KBS uppfattning visat att

- sannolikheten för sådana rörelser i den svenska berggrunden är synnerligen låg
- inom områden som omges men inte genomkorsas av sprickzoner är sannolikheten utomordentligt låg för att nya strömningsvägar (bergsprickor) skall öppnas
- bergpartier som vid utförandet av slutförvaret visar sig ha hög sprickfrekvens inte bör utnyttjas för förvaring
- varken föreslagna buffertskikt eller kapsel skadas även om för svenska förhållanden betydande berggrundsrörelser skulle beröra slutförvaret.

Risken för en skada på en del av slutförvaret till följd av berggrundsrörelser bedömer KBS därför som utomordentligt låg. Om en sådan trots allt inträffar bedömer KBS att sannolikt endast några procent av kapslarna drabbas. Konsekvensen av detta anser KBS bli av samma storlek som dem som beräknats för långsam kapselnedbrytning.

Meteoritnedslag

Om en meteorit skulle träffa jordytan mitt över ett slutförvar uppstår en krater som skulle kunna försvaga den geologiska barriären eller i värsta fall eliminera den helt.

Studier av meteoritnedslag som inträffat under två miljarder år visar att sannolikheten för meteoritnedslag som ger ca 100 m kraterdjup är omkring 10^{-13} per år och km^2. KBS anser att den historiska erfarenheten är en bekräftelse på att meteoritnedslag inte är en risk som behöver beaktas i detta sammanhang.

Krigshandlingar och sabotage

I de långa tidsperspektiv som är aktuella för slutförvaringen kan krigshandlingar inte hänföras till "extrema händelser". Däremot anser KBS det vara extremt att krigshandlingar skall leda till allvarliga konsekvenser för säkerheten hos ett slutgiltigt tillslutet slutförvar på ca 500 m djup i den svenska berggrunden.

Markdetonationer av kärnladdningar på 10-50 megaton ger upphov till kratrar i berget med djup av storleksordningen 110-180 m. Den geologiska barriären genombryts sålunda inte men kan väl försvagas. Detta anser dock KBS i en sådan situation vara av underordnad betydelse då eventuella utsläpp från slutförvaret endast motsvarar en bråkdel av den radioaktivitet, som bomben förorsakar och som under långa tider kommer att kvarligga inom området.

Krigsskador på slutförvaret och inkapslingsstationen under uppfyllnadsskedet är givetvis tänkbara. Sannolikheten bedömer KBS vara låg, då dessa anläggningar inte torde bli primära mål för militära aktioner. Konsekvenserna av bombträffar och liknande blir också begränsade jämfört med de situationer i övrigt som blir en följd av krigshandlingarna.

Under de skeden då mellanlagring, inkapsling och uppfyllnad av slutförvaret pågår förutses sabotageskydd. Sedan slutförvaret blivit definitivt stängt är enligt KBS verkningsfulla sabotagehandlingar uteslutna.

Någon detaljerad analys av krigshandlingar riktade mot centrallager och mellanlager har inte genomförts. Båda dessa anläggningar avses bli förlagda med 30 m bergtäckning bl. a. för att ge skydd mot yttre påverkan som krigshandlingar och sabotage.

Jämfört med andra objekt som erfarenhetsmässigt har varit aktuella för sabotage i utpressningssyfte anser KBS att här behandlade anläggningar är mindre attraktiva för potentiella sabotörer och närmast jämförbara med annan industri där man hanterar miljöfarligt material.

Framtida mänskliga ingrepp

Det är tänkbart att vetskapen om var slutförvaret är beläget går förlorad i en avlägsen framtid och att människor då av någon anledning kommer att utföra borrningar eller bergarbeten, som leder till kontakt med avfallet. Slutförvaret kommer enligt KBS rapport att bli beläget i någon av våra vanligaste bergarter, som inte innehåller utvinningsvärda mineraler. Djupet och den låga vattenföringen i det utvalda täta berget gör enligt KBS att sannolikheten för framtida djupbrunnsborrning efter vatten likaledes är osannolik. Någon anledning att söka sig till dessa stora djup vid anläggande av bergrumslager eller liknande anser KBS ej föreligga. Att belägenheten av slutförvaret skulle bli okänd torde enligt KBs förutsätta att vår nuvarande civilisation gått förlorad genom någon katastrofartad händelse såsom ett globalt utrotningskrig eller en ny istid. Om landet därefter åter blir befolkat blir

de här behandlade riskerna aktuella, dock endast om den nya befolkningen nått en teknisk utvecklingsnivå som möjliggör avancerade bergarbeten. I så fall anser KBS det vara troligt att man även har förmågan att detektera den aktivitet som finns i slutförvaret och agera på sådant sätt att skador därav förhindras. En ny nedisning av landet bedömer KBS ej påverka slutförvarets integritet.

Sammanfattande säkerhetsbedömning av slutförvaringen

Säkerhetsanalysen visar enligt KBS sammanfattningsvis bl. a. följande:

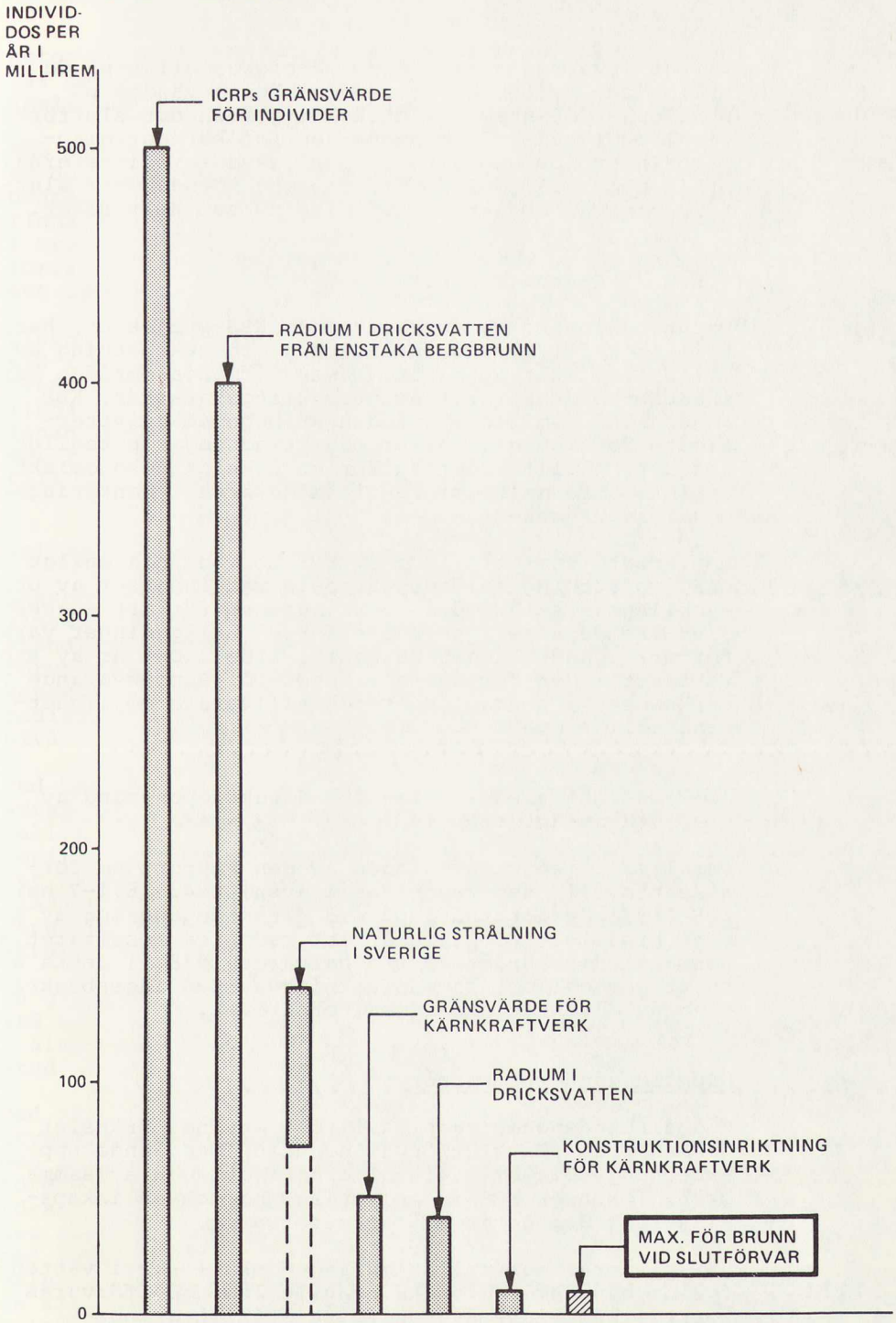
1. I det mest ogynnsamma fallet - en djupborrad dricksvattenbrunn i närheten av slutförvaret - beräknas stråldosen till en människa i framtiden enligt KBS kunna öka med högst 13 millirem per år. Denna ökning är mindre än de lokala variationer som förekommer i den naturliga strålningen på olika platser i Sverige. Se figur 4.11.

2. KBS anser att det troliga tillskottet till stråldoserna är mindre än en hundradel av det angivna maximivärdet. Detta anges bero bl. a. på att nedbrytningen av kapslar och utlakningen av glas vid de låga vattenflöden som förekommer på 500 m djup i tätt berg kan väntas ske avsevärt långsammare än vad som antagits i beräkningarna. Vidare har i dessa använts fördröjningsfaktorer och vattentransporttider som enligt KBS uppfattning är försiktigt valda.

3. Även för det ogynnsammaste fallet med mycket försiktigt valda data i beräkningarna finner KBS att hälsoriskerna är utomordentligt små om ens några.

   De beräknade kollektivdoserna motsvarar 0,4 fall av cancer och 0,4 fall av genetiska defekter räknat för hela jordens befolkning under en tidrymd av 500 år. Det nuvarande antalet dödsfall i cancer i Sverige är ca 20 000 per år. Av alla födda drabbas omkring 3 % av naturliga genetiskt betingade defekter vilket innebär att ca 3 000 sådana fall årligen inträffar i Sverige. De angivna värdena på hälsoeffekter är beräknade med hjälp av de internationellt accepterade sambanden mellan stråldos och maximala hälsoeffekter. Många tecken tyder enligt KBS på att dessa samband överskattar hälsoeffekterna vid de låga dosvärden och dosrater som här är aktuella.

4. Även i det fall där man valt en rad ogynnsamma förutsättningar blir de beräknade förändringarna av strålningsmiljön enligt KBS väsentligt mindre än förekommande normala naturliga variationer. Dessa naturliga variationer har ingen i dag på-



Figur 4.11 Stapeldiagram som dels visar de beräknade högsta stråldoser som slutförvaret kan ge någon närboende, dels dosbelastningen till människa från några naturliga strålkällor samt några fastställda dosgränser. Dosen från dricksvatten kommer från radium -226.

Källa: Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning.

visbar inverkan vare sig på människan eller på de ekologiska systemen. Beräknade högsta värden på stråldoser orsakade av utläckning från ett slutförvar ligger under de gränsvärden för kärnenergianläggningar som angivits av strålskyddsmyndigheterna. KBS bedömer således den föreslagna metoden för slutförvaring av högaktivt avfallsglas som helt säker.

4.5.6.7 Fortsatt arbete

De utredningar, som utförts inom KBS-projektet, har till stor del avsett inventering och bearbetning av befintligt kunskapsmaterial men på många områden har insatserna även varit av utvecklingskaraktär. KBS anser att inom flera områden är behovet av ytterligare forskningsinsatser och utredningar påtagligt för att erhålla underlag för en tekniskt-ekonomiskt optimal utformning av de olika faserna i hanterings- och förvaringskedjan.

Det arbete som utförts inom KBS bör sålunda enligt KBS uppfattning fullföljas, dels med insatser av utvecklingskaraktär, dels med insatser för att successivt öka detaljeringsgraden för de anläggningar vars förverkligande ligger närmast i tiden. Det är av stor vikt att i det fortsatta arbetet följa motsvarande verksamhet i andra länder och tillvarata möjligheterna till samverkan.

4.5.6.8 Lägesredovisning för direktdeponering av använt bränsle

Parallellt med utformningen av den rapport om förglasat avfall som redovisas i avsnitt 4.5.6.1-7 har KBS studerat alternativet med direktdeponering av använt bränsle. KBS planerar att redovisa resultatet av dessa studier under första halvåret 1978. I detta avsnitt ges en kort sammanfattning av KBS lägesbeskrivning av direktdeponeringsalternativet.

Grundläggande principer

Vid direktdeponeringen skall det använda bränslet omhändertas för slutförvaring utan föregående upparbetning. Liksom i glasalternativet, och av samma skäl, förutser KBS en mellanlagring och en inkapsling före deponeringen i slutförvaret.

KBS planerar att mellanlagringen skall ske i vattenfyllda bassänger i vilka bränsleelementen förvaras torrt i behållare av rostfritt stål. Lagringsmetoden liknar den som tillämpas för det centrala bränslelagret med den skillnaden att bränslet ej har kontakt med vatten. Mellanlagringen kommer på detta sätt att bli en naturlig fortsättning av verksam-

heten i det centrala bränslelagret. Mellanlagret har därför av KBS förutsatts bli lokaliserat i direkt anslutning till detta.

KBS anser att det är tänkbart att en upparbetning av det använda bränslet kan bli aktuell under den tid bränslet förvaras i mellanlagret om man då skulle finna det önskvärt att tillvarataga energiinnehållet i bränslet i stället för att deponera det i ett slutförvar. Den rostfria behållaren utföres därför på ett sådant sätt att uttag av bränslet underlättas.

Liksom för glasalternativet förutser KBS en lagringstid i mellanlagret av minst 30 år. Bränslet kan därefter deponeras i ett slutförvar vars utformning liknar det som föreslås för det förglasade avfallet. Innan deponeringen sker förses bränslet med en kapsel i en inkapslingsstation belägen i anslutning till slutförvaret.

Val av inkapslingsmaterial

Liksom för glasalternativet är syftet med inkapslingen att förse bränslet med ett korrosionsbeständigt hölje som skydd mot grundvattnet i slutförvaret. För metalliska kapslingsmaterial avses kapseln dessutom ge en strålskärmning som minskar radiolysen av grundvattnet till en försumbart låg nivå.

Med hänsyn till att det använda bränslets farlighet avtar långsammare med tiden än vad som gäller för avfallet efter upparbetning, har KBS utfört en inventering av tänkbara inkapslingsmaterial med sikte på att finna material med längre livslängd än den för glasalternativet valda kombinationen bly-titan. Tillgång, ekonomi och tillverkningsbarhet har därvid beaktats.

På grundval av resultatet av denna inventering har KBS valt ut koppar och två keramiska material - aluminiumoxid och en glaskeram - för närmare studium.

Med hänsyn till att ytterligare utrednings- och utvecklingsarbete återstår för keramiska kapslar med avseende på korrosionsegenskaper, risken för fördröjt brott och tillverkningsteknik, har KBS i första hand inriktat arbetet på direktdeponering av det använda bränslet i kapslar av koppar. Arbetet med keramiska kapslar fortsätter. KBS framhåller att valet av kapslingsmaterial och deponeringsteknik även kan komma att påverkas av att buffert-blandningen kring kapseln ersättes med ett annat fyllnadsmaterial.

Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp av specialister inom korrosions- och materialområdet, har på uppdrag av KBS, granskat korrosionsbeständigheten av de föreslagna inkapslingsmaterialen. I slutrapporten (1978-03-31) om koppar som kapslingsmaterial har en kopparkapsel med en väggtjocklek av 200 mm bedömts ha en livslängd av hundratusentals år[1]. Bakom Korrosionsinstitutets slutsatser står åtta av de nio specialister som ingår i dess referensgrupp.

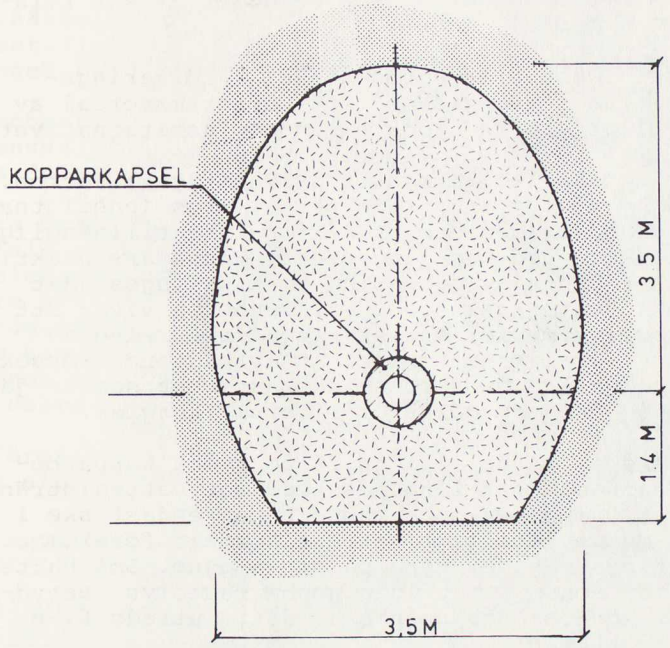
Utformning av slutförvar

Liksom i glasalternativet består slutförvaret i huvudsak av ett system av parallella förvaringstunnlar belägna ca 500 m under markytan, med tillhörande transport- och servicetunnlar och schakt.

Förvaret har utformats för horisontell deponering, dvs. kapslarna placeras liggande i tunnelns längdriktning. Se figur 4.12. Kapselns längd på nära 5 m gör att en deponering i vertikala hål, som i glasalternativet, blir mera otymplig och kräver betydligt större tunnelhöjd. Den horisontella deponeringen gör det också möjligt att ge det buffertmaterial av sand/bentonit som omger kapseln en betydligt större tjocklek än i ett vertikalt, borrat hål. En kompakterad sand/bentonitfyllning anges av KBS ha så låg permeabilitet och i övrigt sådana egenskaper att endast mycket små mängder vatten kan få kontakt med kapseln.

---

1) Denna slutsats hänför sig till en utformning av slutförvaret som avviker från den princip som skisseras i figur 4.14. KBS arbetar nämligen f.n. även för fallet direktdeponering med vertikala borrhål. Fyllningen utgörs av högkompakterad bentonit.



Figur 4.12 Förvaringstunnel för direktdeponering av använt bränsle. Kopparkapseln ligger horisontellt. Upp till 1,4 m i tunneln lägger man buffertmaterialet i skikt och packar det. Tunnelns övre del fylls genom sprutning av buffertmaterial.

Källa: Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning.

Säkerhetsanalys

De skillnader mellan direktdeponering av använt bränsle och slutförvaring av förglasat högaktivt avfall som kan ha säkerhetsmässig betydelse är enligt KBS främst följande:

- Uran- och plutoniummängderna, som deponeras som avfall, är 200 gånger högre än i högaktivt förglasat avfall. Vidare medföljer en del andra radioaktiva produkter som annars avskiljes vid upparbetningen.

- Den första barriären utgöres av det svårlösliga bränslet och dess kapsling i stället för av borsilikatglaset.

- Kapseln tillverkas av koppar eller av ett keramiskt material.

- Kapseln deponeras horisontellt i förvaringstunnlarna och omges med ett buffertmaterial av betydligt större tjocklek än i glasalternativet.

Urandioxidbränslet är mycket svårlösligt i vatten. 90-99,9 % av klyvningsprodukterna finns inneslutna i själva urandioxiden och är därför inte tillgängliga för utläckage vid kapslingsbrott. Många års praktisk erfarenhet finns av förvaring av kapslingsskadat bränsle i vattenbassänger. Erfarenheten visar att en sådan lagring medför endast ringa frigörelse av aktivitet. Preliminära resultat av pågående försök visar enligt KBS en upplösningshastighet som är jämförbar med den som gäller för borsilikatglas.

Inkapsling av bränslet i en 20 cm tjock kopparbehållare innebär ett långtidsskydd mot vatteninträngning. Korrosion av kopparmanteln kan endast ske i kontakt med syrehaltigt vatten. Normalt förekommer endast ringa mängder syre på stora djup. Små halter oxiderande ämnen kan bildas genom radiolys. Betydelsen ur korrosionssynpunkt av detta utreds f. n. inom projektet.

Den tjocka kapseln reducerar strålfältet och ger gott mekaniskt skydd. Kapslarna tillslutes med flera lock vilket ökar säkerheten mot svetsfel. KBS utreder f. n. sannolikheten för initial kapslingsskada och för spridning av radiolysprodukter till närliggande kapslar.

Inneslutning i en aluminiumoxidkapsel innebär att en mycket korrosionsbeständig barriär erhålles. Av tillverkningstekniska skäl önskar man begränsa längden till omkring tre meter, vilket resulterar i att bränslet måste bearbetas till kortare enheter före inkapsling. Detta avses ske i en särskild hanteringsprocess. KBS kommer att genomföra en säkerhetsanalys för denna process.

4.5.7 Kritisk granskning av KBS-projektet

4.5.7.1 Inledning

Säkerhets- och miljögruppen har låtit genomföra en kritisk granskning av den i avnsitt 4.5.6 sammanfattade KBS-rapporten. Två personer, professorerna John Winchester och Jan Rydberg med skeptisk resp. optimistisk inställning till möjligheterna att lösa avfallsproblemen, har givits i uppdrag att gemensamt utvärdera rapporten och så långt möjligt redovisa utvärderingen i en gemensam text[1].

---

1) Disposal of High Active Nuclear Fuel Waste, Ds I 1978:17

Målsättningen för granskningen har varit att den skall identifiera och beskriva för säkerheten och omgivningen kritiska frågeställningar.

Winchester och Rydberg presenterar resultatet av sin granskning av KBS-rapporten i tre delar. De två första delarna återger författarnas gemensamma synpunkter. Där framgår att man är överens om att det skulle vara motiverat att utvidga KBS definition av högaktivt avfall så att bl.a. även kapslingsresterna från bränsleelementen klassificeras som sådant. Man anser vidare att de geokemiska aspekterna på slutförvaringen borde belysts bättre, att avfallsglasets upplösningstid kan ha överskattats och att KBS borde ha belyst frågan om kriticitet i slutförvaret. I den avslutande delen summerar var och en för sig sina slutsatser.

I föreliggande avsnitt sammanfattas de båda författarnas slutsatser.

4.5.7.2 John Winchesters slutsatser

Möjligheter att genomföra slutförvar i geologiska formationer

En rad tekniska problem uppstår enligt Winchester i samband med slutförvaring av högaktivt avfall i geologiska formationer:

- försegling av förvaret så att läckor ej uppstår måste demonstreras
- borrning, värmeutveckling och kemiska fenomen får inte äventyra förvarets integritet
- möjligheter att förutsäga stabilitet och vattenflöden i ett långt tidsperspektiv måste demonstreras
- konsekvenser av osannolika händelser, t. ex. jordbävningar och meteoritnedslag måste utvärderas
- övervakning av området fordrar nya tillvägagångssätt.

Geologi, hydrologi, geokemi och oceanografi är "unga" vetenskaper. En snabb utveckling har ägt rum inom dessa vetenskaper sedan år 1950, vilket å ena sidan innebär att kunskaperna ökar snabbt men å andra sidan att etablerade kunskaper och teorier i en nära framtid kan visa sig föråldrade.

Vi har fortfarande mycket begränsade kunskaper om påverkan på regionala och globala klimatförhållanden av jordbruk, skogsbruk och förbränning av fossila bränslen. Andra fenomen, om vilka kunskaperna är mycket begränsade är:

- istider
- förändringar i koldioxidhalten i atmosfären
- klimatförändringar
- förändringar av nederbördsförhållanden och den hydrologiska cykeln på grund av joniserande strålning
- omkastningar av det jordmagnetiska fältet och dessas samband med geologiska processer.

Några av dessa obesvarade frågor kan ha samband med kärnbränslegångens påverkan på den globala miljön. Andra behöver naturligtvis inte ha något samband. När vi utvärderar kärnkraftens inverkan på jorden - inkluderande effekterna av geologisk förvaring av radioaktivt avfall - är det nyttigt att beakta frågor av denna typ för att få perspektiv i våra bedömningar.

Skalfrågor

KBS-planen avser hantering av utbränt bränsle från 13 reaktorer under en 30-årsperiod. Säkerhetsanalysen visar enligt Winchester att stråldosen till kritisk grupp om 200 000 år inte är liten i förhållande till vad som f. n. bedöms acceptabelt. Planen är inte utformad för avfall från ett större antal reaktorer under en längre tidsperiod. Den är heller inte lämpad för att utnyttjas i andra länder. Den är sålunda en småskalig plan i förhållande till behoven i många länder som är beroende av kärnkraft.

En intressant fråga är huruvida KBS ser en praktisk gräns för den mängd avfall som säkert kan förvaras i Sverige. Den frågan är väsentlig för bedömningen av kärnkraft som ett långsiktigt tillgängligt energialternativ.

En annan viktig fråga är om säkerhetsanalysens resultat förändras om plutoniumberikat bränsle används.

Winchester frågar sig vidare om risken i Sverige skulle bli större om övriga europeiska länder använde KBS-planen än om Sverige ensamt hade avfall att ta hand om. Ändamålsenligheten med KBS-planen skulle enligt Winchesters bedömning vara mindre om man kunde förutse liknande slutförvar i andra länder. Det är möjligt att risken i Sverige av att ha många slutförvar i Europa blir större än risken från ett slutförvar i Sverige.

Bedömning av det tillvägagångssätt som KBS använt

1. Är KBS säkerhetsanalys genomförd med optimal metodik?

Principen att beräkna en övre gräns för resulterande stråldos gör det svårt att bedöma den mest sannolika dosen och försvårar känslighetskalkyler.

Winchester önskar se KBS jämföra sin säkerhetsanalys med resultat från alternativa metoder innan han kan bedöma om KBS analys är korrekt.

2. Vilken är vår erfarenhet av prediktiva fysiska modeller och kan vi från denna erfarenhet bedöma tillförlitligheten i KBS modell?

De processer som avser utsläpp av radioaktivitet från slutförvar till människa och som ingår i KBS modell har av praktiska skäl inte kunnat direkt verifieras. Det finns således inget bevis för att KBS modell är korrekt. Winchester anser att det är väsentligt att modellen kan verifieras innan man kan ha fullständigt förtroende för dess förutsägelser och att en ytterligare grundlig genomgång av KBS geofysiska modell därför bör genomföras.

3. Är modellens indata tillräckligt noggranna för tillförlitligheten i kalkylerna? Kan tillförlitligheten påtagligt förbättras genom ytterligare experiment?

I vissa fall har data funnits tillgängliga i litteraturen, i andra har nya data tagits fram av KBS, i andra åter har bedömningar gjorts. Detta leder enligt Winchesters mening till osäkerheter i modellens resultat varför han anser att en grundlig genomgång av de data som använts av KBS bör genomföras.

4. Kan en bedömning göras av sannolikheten för oförändrade geologiska förhållanden under den aktuella tidsperioden?

Nya rön kan enligt Winchester visa att den gängse bedömningen att berggrunden i Sverige är geologiskt stabil kan behöva förändras. Winchester rekommenderar därför att oberoende experter får göra en bedömninga av detta och beakta såväl klimat, geokemi, geofysik som geologi och inte bara fysiska aspekter på berggrunden.

5. Har all tänkbar samverkan av betydelse mellan bränslebehållarnas metallhölje och omgivande geologiska media förutsetts av KBS?

Det är viktigt att förutse alla potentiellt viktiga fenomen av denna karaktär innan slutförvaret förseglas. På grund av problemets komplexitet och några förbiseenden av KBS anser Winchester att en oberoende analys av problemkomplexet bör genomföras.

6. Kan man bedöma sannolikheten för att f. n. accepterade strålskyddsnormer kommer att skärpas i framtiden?

Framtida generationer kan tänkas skärpa strålskyddsnormerna så att kriterierna för att bedöma slutförvaret ändras. Winchester anser att en grundlig genomgång av frågan om nuvarande normer kan anses vara tillräckliga för att tillgodose även framtida generationer bör genomföras.

Tekniska aspekter på KBS förslaget

Centrallager

Winchester påpekar att om upparbetningskapacitet fanns tillgänglig skulle något behov av centrallager inte föreligga, utan lagringsmöjligheterna i anslutning till kraftverken skulle vara tillräckliga.

Möjligheten av terroristaktioner mot centrallagret måste beaktas. Om erforderliga åtgärder är omfattande kan det uppstå sociala konsekvenser i form av poliskontroll som kan sträcka sig bortom anläggningens omedelbara närhet.

Det är möjligt att tänka sig händelser som leder till att kylsystemet havererar och vatten inte längre kan förhindra överhettning av bränslet. Risken för fel på kylsystemet är enligt Winchester signifikant.

Mellanlager

Skälen för att etablera ett mellanlager är dels att reducera värmeavgivningen från avfallsbehållarna, dels att öka tiden för att utveckla en säker slutförvaring. Winchester anser att det första skälet inte är tillräckligt för att motivera mellanlagret, eftersom samma värmereduktion kan erhållas genom att minska

det radioaktiva innehållet i behållarna. Det primära skälet måste då enligt Winchester vara att skapa ytterligare tid för att utforma slutförvaret. Detta skulle innebära att nuvarande teknologi inte är tillräcklig.

Inga kalkyler har presenterats som visar att avfallet kan flyttas till slutförvaret tidigare än efter 30 års avsvalning, som förutsätts i KBS rapporten. Härav drar Winchester slutsatsen att åtminstone 30 års lagringsperiod fordras, vilket enligt Winchesters mening innebär en allvarlig begränsning i KBS-planen.

KBS rapporten innehåller ingen detaljerad diskussion om hur skydd mot terroristangrepp kan ordnas.

Det är vidare enligt Winchester lätt att tänka sig situationer där ventilationsschakten tillsluts genom naturkatastrof, terroristaktion eller krig. Om detta skulle inträffa kommer glaset att överhettas och kan därefter endast slutförvaras efter ytterligare någon form av upparbetning. Man måste således under en 60-årsperiod genom mänsklig tillsyn upprätthålla ventilationssystemet.

Slutförvar

Säkerhetsanalysen för slutförvaret baseras på datorprogram som inte presenteras i någon av KBS rapporter[1]. Det har därför inte varit möjligt att på ett oberoende sätt verifiera att KBS slutsatser är korrekta. Vissa fel i parameterdefinitioner finns i beskrivningen av säkerhetsanalysen.

Det är enligt Winchester inte klarlagt att man kan hitta områden för slutförvar av tillräcklig storlek och med de egenskaper i övrigt som erfordras. Storleken av det område, fritt från förkastningar, som behövs kan enligt Winchester vara så stort som 100 km^2. De potentiella lägen som KBS redovisar kan vara för små för ett 1 km^2 stort slutförvar. Winchester anser att innan KBS-planen accepteras måste val av lokaliseringsplats för anläggningen göras.

Winchester anser att det är en fördel med så kort tid som möjligt mellan uttag av bränsle ur reaktorn och slutdeponering. Man bör därför kräva en redovisning av KBS av att alla förseningar i denna process verkligen är nödvändiga - i synnerhet mellanlagret.

---

1) Dessa har senare presenterats i bl.a. KBS tekniska rapporter nr 40 och 43.

Försegling av slutförvarets schakt är inte ett trivialt problem. Förseglingen är enligt Winchester en av de viktigaste tekniker som måste demonstreras i praktiken innan slutförvaret kan anses helt säkert.

Mellanlagret och slutförvaret kommer att hållas öppet under en lång tidsperiod. Detta innebär dels risk för missbruk av det åtkomliga avfallet, dels att möjligheterna för en tillfredsställande försegling kan försämras. Dessa risker har inte klart utpekats i KBS rapporten.

Den geologiska barriären är den enda barriär som långsiktigt kan förhindra att radioaktivitet når människan. Vissa geologer är skeptiska till om KBS-studien har varit tillräckligt omfattande för att göra troligt att man kan förlita sig på den geologiska barriären under så lång tid som KBS räknar med. Winchester delar denna skepticism och anser att frågan endast kan avgöras sedan definitiv lokalisering gjorts och ytterligare försök genomförts som visar att aktivitetsfördröjningen är tillräcklig.

Såvida invånarna i närheten av den valda platsen inte är övertygade om slutförvarets säkerhet kan enligt Winchesters mening slutförvaret inte anses som helt säkert.

I den viktiga figuren 4.11 visas stråldos som funktion av tiden i dels ett "ogynnsamt" fall, dels ett "sannolikt" fall. Den enda skillnaden i förutsättningarna är enligt Winchester att i den övre kurvan antas utlakningstiden vara 30 000 år medan den i den undre antas vara 3 milj. år. Winchester anser att redan tiden 30 000 år är orealistiskt gynnsam och att 5 000 år kan vara ett mer realistiskt värde. Detta skulle leda till en något högre stråldos än de 13 mrem/år som anges av KBS. För att 3 milj. års utlakningstid skall ernås fordras att grundvattenflödet är begränsat. Winchester menar att KBS redovisar otillräckliga data för att underbygga detta antagande. Den övre kurvan i figur 4.11 kan därför enligt Winchesters mening sägas representera något optimistiska antaganden i stället för motsatsen som KBS anger. Enligt Winchester bör därför beräkningarna göras om med användning av bästa möjliga information.

KBS antar att avfallskapslingens livslängd är 500 à 1 000 år och att grundvattentransport från slutförvaret till markytan tar 400 år. Enligt Winchester borde beräkningarna göras om med antaganden om betydligt kortare tider i båda dessa fall för att få ett bättre begrepp om betydelsen av kapslingens livslängd jämfört med fördröjningseffekterna i berget. KBS-rapporten ger inga informationer om konsekvenserna om alla avfallskapslar har kortare livslängd än beräknat.

KBS har enligt Winchester inte övervägt huruvida uran och plutonium i framtiden genom en kedja av geokemiska

händelser någon gång i framtiden skulle kunna bilda en kritisk massa. Winchester anser att konsekvenserna av detta skulle kunna bli katastrofala och att åtgärder för att motverka sådana händelser måste genomföras.

Övriga tekniska frågor

Winchester anser att frågan om vilket avfall som kommer att återsändas till Sverige efter upparbetning är oklar. Detta sammanhänger med att SKBF:s[1] upparbetningsavtal är hemligt och att Winchester och Rydberg inte fått tillgång till detsamma. Avfall från bränslets kapslingsrör, som också har en hög aktivitetsnivå, kan komma att återsändas till Sverige. Innan fullständig information i denna fråga föreligger anser Winchester att man måste utgå ifrån att KBS har behandlat endast en del av problemet med högaktivt avfall.

0,5 % av plutoniet i utbränt bränsle återfinns i det förglasade avfallet. 97 % av plutoniet kan garanteras bli återsänt till Sverige för att utnyttjas i kärnbränsle. Det har enligt Winchester inte klart visats var resterande del kommer att återfinnas. Winchester anser att garantier måste skapas för att allt plutonium återsänds till Sverige om KBS-planen skall kunna betraktas som helt säker.

KBS borde vidare enligt Winchesters uppfattning redovisa en analys av de risker som är förknippade med ett avbrytande av kontrakterade upparbetningstjänster.

Winchester tar också upp frågan om att bestämma storleken på en stråldos som kan anses acceptabelt låg. Ett flertal faktorer måste härvid beaktas, bl.a. individuella och kollektiva stråldoser under långa tider. KBS-rapporten anses inte innehålla en fullständigt tillfredsställande diskussion på denna punkt.

Winchester framhåller en risk i transportkedjan som enligt hans mening kan vara särskilt stor i KBS-förslaget, nämligen risken att förlora fartygstransporterade behållare på stora djup. Det framgår inte om behållarna kan bärgas från stora djup eller om behållarna kan motstå tryckpåkänningarna på dessa djup.

Slutsats

Winchester anser att KBS planen är otillräcklig för att garantera att avfallsförvaringen skall visa sig framgångsrik. Fortsatta studier bör därför genomföras för att utveckla den nödvändiga tekniken för

---

1) Svensk kärnbränsleförsörjning AB

slutförvaring av radioaktivt avfall. När bevisen är tillräckliga för att garantera ett framgångsrikt resultat kan tiden vara inne för att acceptera en föreslagen plan. Det nuvarande förslaget är enligt Winchesters mening inte tillräckligt.

4.5.7.3 Jan Rydbergs slutsatser

Rydberg delar upp riskerna förknippade med avfallsfrågan i två delar, dels risker i samband med hantering av avfall, dels sena risker förknippade med förvaringen av avfallet i slutförvaret.

Risker vid hantering

Hantering av utbränt bränsle och radioaktivt avfall kan inte göras utan att personal utsätts för viss strålning. Sannolikheten för att tredje man skall utsättas för strålning från dessa hanteringsled är enligt Rydberg ytterst liten. Det är berörda myndigheters ansvar att se till att allt arbete utförs så att accepterade risknivåer inte överskrids. Rydberg ser inga skäl för att detta inte skulle vara möjligt.

Risker vid slutförvar

I riskdiskussionen är det lämpligt att särskilja två perioder, dels de första 1 000 åren med relativt hög risk, dels tiden därefter med relativt låg risk. I bedömningen av riskerna är det lämpligt att skilja mellan sannolika och mycket osannolika händelser.

Sannolika händelser

Ett slutförvar på 500 m djup i svenskt urberg kommer enligt Rydberg sannolikt att vara stabilt under miljontals år även med beaktande av effekterna av framtida istider. En konsekvens härav är att grundvattenflödet endast kommer att ändras obetydligt.

Grundvattenflödet är en av de viktigaste faktorerna som påverkar slutförvarets säkerhet, eftersom ett mycket stort flöde skulle kunna lösa upp kapslingen och glaset på några tusen år. Från mätningar på ett flertal platser i Sverige framgår att många berggrundsstrukturer är mycket svårgenomträngliga för vatten. Rydberg är övertygad om att det inte kommer att bli några svårigheter att i Sverige finna ett tillräckligt stort område som uppfyller de hydrologiska kraven.

Från den mängd grundvatten som finns i slutförvaret och kunskaper om kemisk löslighet kan man enligt Rydberg beräkna att det kommer att ta över en miljon år för att lösa allt bly i avfallsbehållaren och ytterligare lika lång tid för att lösa upp glaset.

Nya fördröjningsfaktorer, dvs. faktorer som beskriver de radioaktiva ämnenas fördröjning i förhållande till grundvattnet vid transport i berggrunden, har kommit fram sedan KBS rapporten skrevs. Dessa är mycket större än de tidigare - dvs. de radioaktiva ämnenas fördröjning är mycket större än som tidigare antagits - något som visar sig ha stor betydelse vid bedömning av de långsiktiga riskerna från avfallet. Rydberg bedömer att under normala förhållanden endast uran slutligen kan nå en recipient i märkbar koncentration och detta sker först efter flera hundra miljoner år. För övriga ämnen tar passagen så lång tid att aktiviteten hinner avklinga.

KBS har presenterat en modell som används bl. a. för att beskriva och beräkna de radioaktiva ämnenas väg från avfallsbehållarna till människan. Rydberg finner att under mest sannolika förhållanden är kapslingens och glasets livslängd av underordnad betydelse. De viktigaste parametrarna är mängden och hastigheten hos grundvattnet samt fördröjningsfaktorerna. Rydberg framhåller att under mest sannolika förhållanden kommer aktivitet från avfallet att nå människan i mängder som är mindre än från naturligt berg.

Osannolika händelser

Avfallet i slutförvaret kan aldrig bli säkert mot framtida mänsklig påverkan. Hänsyn tas till detta vid slutförvarets lokalisering. Det förefaller enligt Rydberg sannolikt att en framtida människa som kan borra till 500 m djup också kommer att ha tillgång till instrument som kan mäta radioaktivitet.

Ett plötsligt fel som leder till fullständig exponering av alla avfallscylindrar till stora mängder strömmande vatten, kan medföra att behållarnas hölje löses upp på 1 000 år och att glaset löses upp under de därpå följande 5 000 åren. Denna ytterst osannolika händelse leder enligt Rydberg till aktivitetsutsläpp i koncentrationer som sannolik väsentligt underskrider aktiviteten i gällande dricksvattennormer.

Sannolikheten för att en plötslig händelse drastiskt skulle ändra de hydrologiska förhållandena liksom sannolikheten för plötslig vulkanism, meteoritnedslag osv. kan inte uteslutas. Det är en bedömningsfråga vilken vikt man skall lägga vid sådana risker. Rydberg anser att det hade varit önskvärt att KBS presenterat sannolikheter för sådana osannolika händelser.

Svagheter i KBS-rapporten

Ett förhållande som vållat Rydberg besvär är det faktum att KBS i sin säkerhetsanalys blandat sannolika och osannolika ("konservativa") data. I flera detaljfrågor är Rydberg inte överens med KBS.

Beskrivningen av hanteringen av avfallet är enligt Rydberg mycket översiktlig och är otillräcklig för att bedöma stråldoser och andra risker för arbetarna. Rydberg utgår ifrån att dessa frågor kommer att granskas av kompetenta myndigheter om anläggningarna kommer att byggas.

När blykapseln upplöses kan fördröjningsfaktorerna för de radioaktiva ämnena påverkas antingen uppåt eller nedåt. Detta leder till osäkerhet, som kan vara ett hinder för att göra förutsägelser med hjälp av den geokemiska modellen. Åtgärder kan dock enligt Rydberg vidtas för att eliminera denna osäkerhet.

Slutsatser

KBS rapporten har enligt Rydberg visat att kunskaperna måste förbättras inom vissa områden av betydelse för slutförvaring i geologiska formationer, t. ex. geokemi. Med hänsyn till den osäkerhet som fortfarande föreligger inom dessa områden föreslår KBS ett antal barriärer mellan det radioaktiva materialet och människan, nämligen bindning av avfallet i glas, kapsling i rostfritt stål, bly och titan, inpackning i kvarts och lera samt åtminstone 500 m urberg. Vissa av barriärerna kan visa sig onödiga men tillsammans bildar de enligt Rydberg ett system med flerdubbel säkerhet (redundans).

Rydberg har funnit att geologerna förefaller överens om att berggrunden i sydöstra Sverige kommer att vara stabil under miljontals år. Under sådana förhållanden och om slutförvaret lokaliseras i enlighet med KBS rekommendationer, kommer enligt Rydbergs bedömning ingen radioaktivitet att läcka ut under en miljon år. Senare kan vissa ämnen komma ut men i mindre mängder än i naturlig berggrund. Avfallsprodukterna i slutförvaret kommer under de förutsatta förhållanden därför enligt Rydberg inte att vålla mer skada än vanligt dricksvatten.

4.5.8 KBS synpunkter på den kritiska granskningen

4.5.8.1 Inledning

KBS har yttrat sig över den kritiska granskning av KBS-rapporten som Winchester-Rydberg genomfört[1]. I detta avsnitt sammanfattas KBS synpunkter.

---

1) KBS kommentarer till "A review of the KBS proposal for disposal in Sweden of high active waste from reprocessing", PM 1978-04-19.

4.5.8.2 Allmänt

Många av de frågor som granskarna tar upp saknar enligt KBS åsikt väsentlig betydelse för den säkerhetsmässiga bedömningen och är av sådan art att de bör behandlas i samband med den detaljerade myndighetsgranskning som föregår byggnadstillstånd och driftagningstillstånd av anläggningar enligt atomenergilagen. KBS behandlar därför inte ytterligare dessa frågor i detta sammanhang. Exempel på detaljproblem av denna karaktär är tekniska frågor i samband med lagring i centrallager och mellanlager, t. ex. beträffande kylning av lagrat bränsle och avfall.

Det är uppenbart att ett omfattande projekteringsarbete är nödvändigt innan konstruktionen för en tekniskt/ekonomiskt optimal och samtidigt säkerhetsmässigt godtagbar anläggning är klar. KBS anser att den tidplan som skisserats i rapporten ger god tid för detta arbete.

Med hänsyn till den geologiska barriärens betydelse för slutförvarets säkerhet kommenterar KBS de synpunkter inom detta område som Winchester framför i sin summering. Dessa synpunkter avser osäkerheten i de geologiska och hydrologiska förutsättningarna samt i det vetenskapliga underlaget för att bestämma fördröjningen av de radioaktiva ämnenas vandring genom berget.

4.5.8.3 Geologi och hydrologi

Den kristallina berggrund i vilken KBS föreslår att slutförvaret skall placeras har en ålder på över en miljard år. Med mätningar och observationer kan man enligt KBS bedöma verkningarna av händelser som inträffat sedan berget bildades. Sådana händelser innefattar de som anges av Winchester i avsnittet om möjligheter att genomföra slutförvar i geologiska formationer och som denne menar eventuellt kan ha betydelse för kärnbränslecykelns påverkan på miljön. Deras inverkan på slutförvarets säkerhet sammanfattas av KBS på följande sätt:

- Istider: Spåren av de 10-20 istider som vi har haft i Sverige kan vi avläsa i berggrunden. De visar att berget endast i ringa grad påverkats på 500 m djup. Den ytterligare istid, som skulle kunna inträffa under de närmaste 100 000 åren, kan därför inte påverka slutförvarets säkerhet.

- Klimatförändringar: Sverige har haft både istider och nästan tropiskt klimat. Dessa extrema förändringar har endast påverkat berggrunden nära ytan och i extrema sprickzoner. I berg av normal beskaffenhet kan ingen påverkan av klimatvariationerna spåras.

- Förändringar av koldioxidhalten i atmosfären: Sådana förändringar kan påverka klimatet. Grundvattnets pH-värde är dock oberoende av koldioxidhaltens variationer i atmosfären.

- Förändringar av nederbördsförhållanden och den hydrologiska cykeln på grund av joniserande strålning: Detta påverkar inte förhållandena 500 m ner i berggrunden.

- Ändringar i det jordmagnetiska fältet: Sådana förändringar har ägt rum och har inte gett någon mekanisk eller kemisk påverkan på 500 m djup.

Dessa händelser kan sålunda enligt KBS inte förväntas ha någon inverkan på slutförvarets säkerhet.

Den verifikation av den av KBS använda geofysiska modellen som efterfrågas av Winchester i avsnittet Bedömning av det tillvägagångssätt som KBS använt, punkt 2, har inom KBS-projektet omfattat alla led i förslaget och bygger på såväl experimentella undersökningar, teoretiska analyser som geologiska observationer.

Winchester ger under punkt 4 i samma avsnitt uttryck för en osäkerhet beträffande hur eventuella framtida förändringar av nu gällande teorier inom geologin avseende rörelser i berggrunden kan påverka bedömningen av slutförvarets säkerhet. KBS framhåller att den bedömning man gjort emellertid inte bygger på dessa teorier utan på en analys av de uppmätta deformationer som inträffat i svensk berggrund såväl i större rörelsezoner som i de stabila berggrundsblock som närmare undersökts.

KBS antar att även nya teorier måste bygga på de observationer som erhållits från naturen. Som ovan nämnts är det svenska urberget av mycket hög ålder och dess stabilitet är väldokumenterad. Endast obetydliga deformationer har ägt rum under de senaste 500-600 milj. åren. Deformationerna har därvid varit koncentrerade till förkastningszoner. Slutförvaret kommer naturligtvis inte att förläggas i en förkastningszon.

Winchester ifrågasätter om ett tillräckligt stort område, fritt från förkastningar, finns att tillgå i Sverige och anger den erforderliga storleken till 100 km^2. Ett så stort område erfordras inte enligt KBS uppfattning. Avgörande är enligt KBS att förvaret inte förläggs i en förkastningszon och att transporttiden för grundvattnet från slutförvaret till biosfären är tillräckligt lång. Den analys som gjorts visar enligt KBS att förhållandena därvidlag är tillfredsställande på undersökta platser.

Den betydelse som Winchester tillmäter förseglingen av slutförvarets schakt grundar sig enligt KBS förmodan sannolikt på att detta är en helt fundamental fråga för ett slutförvar i en saltformation, liknande det som planeras bli utfört i USA. I kristallint berg är detta emellertid inget kritiskt problem. Utförda prov har enligt KBS visat att tätning av störda bergspartier med bentonitinjektering kan utföras med gott resultat.

KBS menar att omfattande erfarenheter från gruvdrift i Sverige och andra länder med liknande berggrund visar att det inte finns någon risk för att slutförvarets integritet skulle kunna påverkas av att det hålls öppet under 30 år.

Vissa av ovanstående av KBS framförda synpunkter grundar sig på nytt material som ännu inte finns redovisat. Det har dock muntligt redovisats för granskarna.

4.5.8.4 Fördröjningseffekter i berggrunden

Analysen av radioaktiva ämnens vandring baseras på en i USA utvecklad modell och på experimentellt bestämda fördröjningsfaktorer. I analysen har bl. a. gjorts följande enligt KBS uppfattning konservativa antaganden:

- Alla kemiska reaktioner mellan radioaktiva ämnen lösta i grundvatten förutsätts vara reversibla reaktioner. Irreversibla reaktioner såsom utfällningar och mineraliseringar torde dock vara vanliga.

- Som bl. a. anges av Rydberg har senare mätningar indikerat att fördröjningsfaktorerna underskattats med minst en faktor 10.

Winchester och Rydberg uttrycker bekymmer över att KBS studien ej diskuterar inverkan av upplöst kapselmaterial (bly) på de geokemiska förhållandena. Det är KBS uppfattning att endast en liten zon närmast kapseln kan påverkas av upplöst bly. De blyföreningar som kan bildas vid korrosionsangrepp är svårlösliga och fastnar därför i närheten av kapseln. KBS anser därför att på några meters avstånd blir de geokemiska förhållandena opåverkade under den tid som är aktuell för de radioaktiva ämnenas sönderfall.

Det finns enligt KBS många geologiska belägg för att aktinider (uran, torium m. fl.) ej löses upp i den typ av grundvatten som kommer att omge slutförvaret.

4.5.8.5 Sammanfattning

KBS framhåller att Winchester har valt att med allmänna formuleringar ifrågasätta det tekniskt-vetenskapliga material, på vilket KBS har baserat sin rapport. Han kommer fram till sin slutsats att KBS-rapporten inte är tillfyllest i huvudsak på grundval av en allmän osäkerhet om okända faktorer i stället för att konkret diskutera huruvida de konservativa antaganden som KBS gör i säkerhetsanalysen är tillfyllest med hänsyn till osäkerheten i underlaget.

Rydberg pekar på att de moment i kärnbränslecykelns slutsteg som föregår slutförvaringen och som medför hantering och övervakning aldrig kan vara "helt säkra" på grund av den mänskliga faktorn. Även Winchester ger uttryck för likartade tankegångar. Detta är även enligt KBS uppfattning riktigt men en övervakad lagring ger möjligheter till förebyggande och konsekvenslindrande åtgärder samtidigt som mellanlagring av högaktivt förglasat avfall i sig har små risker. En tid av övervakad lagring är därför enligt KBS att föredra framför en tidigareläggning av slutförvaringen till tidigast möjliga tidpunkt.

4.5.9 Sammanfattning

4.5.9.1 Allmänt

Vid energiproduktion i ett kärnkraftverk förbrukas uran samtidigt som avfallsprodukter bildas. Det använda bränsle som årligen tas ut ur en kärnreaktor innehåller förutom oförbrukat uran och bildat plutonium även klyvningsprodukter och transuraner. Det är dessa senare ämnen som ger huvuddelen av strålningen i det högaktiva avfallet.

För att kunna utvinna ytterligare energi ur använt kärnbränsle måste de bildade klyvningsprodukterna och transuranerna avskiljas från uranet genom upparbetning. Efter upparbetning kan uran och plutonium åter användas för bränsletillverkning medan återstoden utgör avfall, som måste deponeras.

Om det använda bränslet inte upparbetas utgör hela bränslemängden avfall. Denna form av hantering av använt kärnbränsle kallas direktdeponering.

Efter upparbetning avses det högaktiva avfallet under några år lagras i flytande form i tankar, varefter det överförs till fast form genom tillsats av glasbildande ämnen. Glaset planeras sedan bli lagrat under ett antal decennier för att värmeutvecklingen i avfallet skall sjunka, varefter det inkapslas och överförs till ett lager för slutlig förvaring.

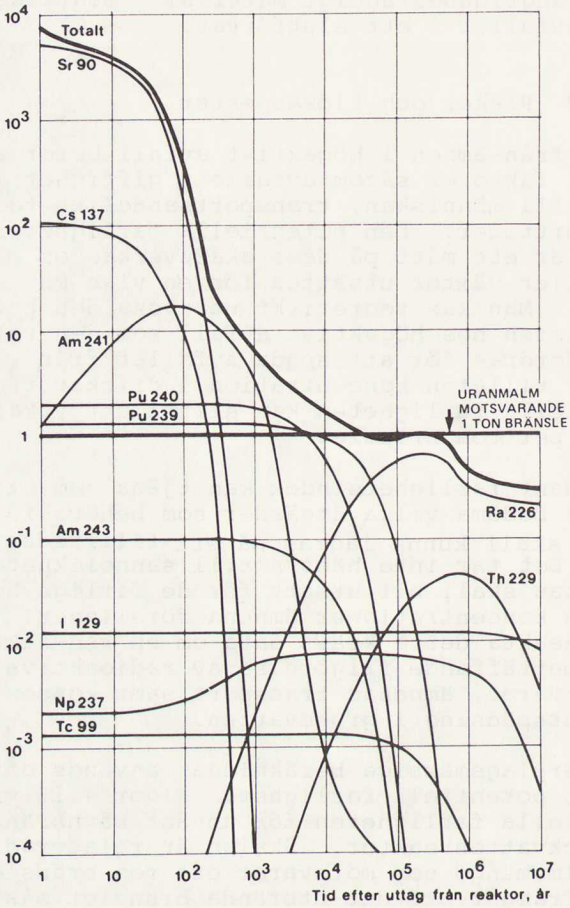
Vid direkt deponering lagras först det använda kärnbränslet för att strålningen skall avklinga. Före den slutliga förvaringen avses bränslet liksom det förglasade avfallet från upparbetning bli inkapslat i ett långtidsbeständigt material. Slutligen deponeras avfallet i ett slutförvar.

4.5.9.2 Risker och tidsaspekter

Risken från ämnen i högaktivt avfall beror av ett flertal faktorer såsom avfallets giftighet, transportvägar till människan, transportsannolikheter och transporttider. Den potentiella farligheten hos avfallet är ett mått på dess skadeverkan om människor, djur eller växter utsättes för en viss mängd av avfallet. Man kan teoretiskt uttrycka den potentiella farligheten hos högaktivt avfall som den vattenvolym som erfordras för att späda avfallet från 1 ton bränsle till tillåten koncentration i dricksvatten. Den potentiella farligheten kan alltså uttryckas i liter vatten per ton bränsle.

Ett sådant farlighetsindex kan tjäna som utgångspunkt för att bedöma vilka åtgärder som behövs för att avfallet skall kunna lagras på ett tillfredsställande sätt. Det tar inte hänsyn till sannolikheten för att människan skall bli utsatt för de farliga ämnena eller i vilka koncentrationer ämnena föreligger. För att kunna beakta detta krävs data om en rad faktorer, t.ex. beträffande frigörelse av radioaktiva ämnen i slutförvaret, ämnenas transport samt koncentration eller utspädning i grundvatten.

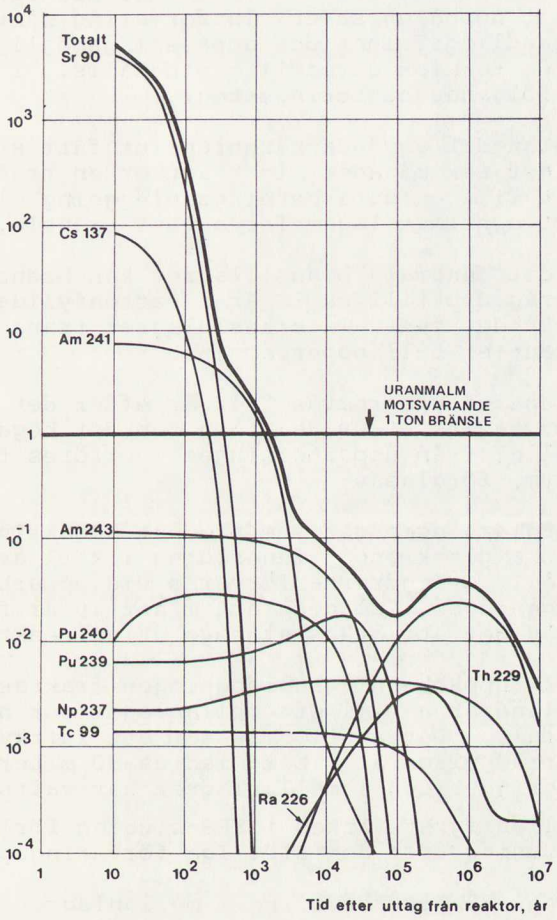
För överslagsmässiga beräkningar används ofta begreppet potentiell farlighet. Figur 4.13 visar den potentiella farligheten för använt kärnbränsle från en tryckvattenreaktor. Skalan är relaterad till den uranmalmsmängd som motsvarar ett ton bränsle. Av figuren framgår att det utbrända bränslet måste lagras i hundratusentals år för att återgå till det naturligt förekommande uranets potentiella farlighetsnivå.



Figur 4.13 Potentiellt farlighetsindex för olika nuklider i 1 ton använt bränsle i relation till den mängd uranmalm som motsvarar 1 ton bränsle. Den reella farligheten påverkas också av ämnenas spridningsvägar till människan. Bränslet har en utbränning av 33 000 MWd(t)/tU, en effekttäthet av 34,4 MW(t)/tU och en anrikning av 3,1% uran-235.

Källa: Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning.

Vid upparbetningen avskiljs praktiskt taget allt plutonium. Detta leder till att den potentiella farligheten hos högaktivt avfall från upparbetningen blir en annan, vilket framgår av figur 4.14. Avskiljt plutonium måste i detta fall hanteras på ett säkert sätt. Den potentiella farligheten hos ursprunglig uranmängd passeras efter ca 1000 år.



Figur 4.14 Potentiellt farlighetsindex för olika nuklider i högaktivt avfall från 1 ton använt bränsle i relation till den mängd uranmalm som motsvarar 1 ton bränsle. Den reella farligheten påverkas också av ämnenas spridningsvägar till människan. Bränslet har en utbränning av 33 000 MWd(t)/tU, en effekttäthet av 34,4 MW(t)/tU och en anrikning av 3,1%.

Källa: Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning.

4.5.9.3 Metoder för avfallshantering och avfallsförvaring

Det högaktiva avfallet måste hanteras och förvaras på ett sätt som är betryggande från strålskyddssynpunkt. En säker förvaring måste åstadkommas under lång tid framåt på grund av de mycket långa avklingningstiderna för vissa i avfallet ingående ämnen. Inom det s.k. KBS-projektet har ett detaljerat förslag till hanteringskedja lagts fram. Syftet med KBS förslag anges vara att uppnå en säker slutförvaring samtidigt som stor handlingsfrihet och anpassningsmöjligheter till framtida teknisk utveckling bibehålls. I KBS förslag ingår följande hanteringssteg:

1. Sedan det använda kärnbränslet fått svalna under minst sex månader vid kraftverken transporteras det till en upparbetningsanläggning eller till ett centralt lager för använt bränsle.

2. I det centrala bränslelagret kan bränslet förvaras upp till ca 10 år i vattenfyllda bassänger. Från det centrala bränslelagret transporteras bränslet till upparbetning.

3. Bränslet upparbetas 2-10 år efter det att bränslet tagits ut ur reaktorn och det högaktiva avfallet från upparbetningen överföres till fast form, förglasas.

4. Förglasningen ger som produkt högaktiva cylindriska glaskroppar inneslutna i kärl av rostfritt stål. Cylindrarna förvaras vid upparbetningsanläggningen till dess att minst 10 år förflutit från det att bränslet togs ut ur reaktorn.

5. Från upparbetningsanläggningen fraktas avfallscylindrarna till ett mellanlager för högaktivt avfall. Detta utformas som ett luftkylt torrt förråd placerat i berg med ca 30 m bergtäckning. Lagringstiden i mellanlagret har valts till 30 år.

   Mellanlagret tänkes i KBS-studien förlagt i anslutning till den slutliga förvaringsplatsen.

6. Efter 30 års förvaring i mellanlagret inkapslas avfallscylindrarna i ett långtidsbeständigt hölje. Detta utförs av titan med 6 mm tjocklek. För att begränsa strålningen på titanhöljet införs ett 10 cm tjockt blyskikt mellan den rostfria behållaren närmast glaset och titanhöljet.

7. Det inkapslade avfallet förs slutligen till ett slutförvar ca 500 m ned i urberget. Förvaret utföres som ett system av tunnlar. I tunnlarnas golv borras ett förvaringshål för varje avfallskapsel. Runt avfallskapseln packas ett buffertmaterial bestående av en blandning av kvartssand och en lera som sväller då den tar upp vatten.

8. Återfyllning av förvaringshålen med buffertmassa sker i direkt anslutning till deponering. Ovanförliggande tunnelsystem kan hållas öppet och ventilerat så länge som deponering pågår i anläggningen.

9. Sedan deponeringen slutförts i alla borrhål i hela tunnelsystemet fylls tunnlarna med en liknande blandning av kvartssand och lera som använts i förvaringshålen. Tillfartstunnlar och schakt fylls på likartat sätt.

4.5.9.4 Säkerhet vid slutförvaring

Av de olika steg som ingår i hanteringen av använt kärnbränsle tilldrar sig slutförvaringen störst intresse. Kunskaperna om vattnets rörelse och om kemiska förhållanden i berg på några hundra meters djup är begränsade. I bedömningen av säkerheten vid avfallsförvaringen är det därför nödvändigt göra försiktiga antaganden ifråga om vattenrörelser och kemiska reaktioner på stora djup. I KBS förslag tillämpar man ett system med flera barriärer mot otillåten spridning av radioaktiva ämnen. Dessa barriärer utgörs av

- svårlösligt borsilikatglas i vilket avfallet är kemiskt bundet
- flera metallhöljen, nämligen kromnickelstål, bly och titan
- buffertmaterial mellan kapsel och berg samt 500 m bergtäckning.

För att en spridning av radioaktiva ämnen skall vara möjlig krävs att den metalliska inkapslingen av glaskropparna skadas och att vatten kommer i kontakt med avfallsglaset. Därvid börjar en långsam utlakning av glaset. Tänkbara händelser som kan initiera ett sådant förlopp är exempelvis

- kapselskada vid deponeringen
- förstöring av kapseln genom korrosion
- någon form av bergrörelse som leder till att kapslar skadas.

I fallet med förstöring av kapslarna genom korrosion ger de olika barriärerna upphov till följande fördröjningar i aktivitetsspridningen

- tid för nedbrytning av kapslarna
- tid för utlakning av avfallsglaset
- tid för vattnets transport från slutförvar till inträde i biosfären
- tid för de radioaktiva ämnenas fördröjning vid passagen genom urberget på grund av s.k. sorption.

De faktorer som bedöms vara viktigast för slutförvarets säkerhet är

- urbergets stabilitet mot geologiska förändringar
- vattenmängd och vattenhastighet i slutförvaret
- de radioaktiva ämnenas fördröjning i berggrunden.

4.5.9.5 Diskussionspunkter beträffande slutförvaring

Diskussionerna i samband med KBS förslag till hantering och förvaring av högaktivt avfall har visat att det på vissa punkter finns divergerande åsikter hos olika experter. Säkerhets- och miljögruppen har i sin slutrapport särskilt pekat på följande fem diskussionspunkter.

1. Hur tungt väger invändningarna mot metoden med inkapsling i bly-titan?

Titanets s.k. vätesprödhet och blyets tänkbara "flytande" ut genom hål i titanet skapar frågetecken kring Korrosionsinstitutets (KI) preliminära rapport, där kapsling gavs minst 500 års livslängd av alla ledamöter i KI:s referensgrupp[1]. Redan detta resultat är synnerligen viktigt då de båda för säkerheten på kort sikt viktigaste klyvningsprodukterna Sr-90 och Cs-137 med ca 30 års halveringstid är "praktiskt" slut efter 500 år. Se figur 4.13 och 4.14

Med en mycket hög ambitionsnivå kan man självfallet önska längre inneslutningstid. I slutet av april i år utkom Korrosionsinstitutets definitiva rapport över en annan kapsel, nämligen koppar av viss kvalitet och utförande och egentligen avseende KBS pågående studier av direktdeponering av utbränt kärnbränsle. Alla i referensgruppen utom en reservant uttalade att stabilitet under vissa bestämda betingelser kunde förväntas under "hundratusentals år". Expertgruppen har inte granskat detta förslag. Om detta resultat kan verifieras har det stor betydelse för säkerhetsbedömningarna.

2. Är de forskningsresultat trovärdiga som visar att den kemiska miljön i djupt liggande grundvatten får en avgörande positiv betydelse för säkerheten?

Resultaten är begränsade till laboratoriemiljö och visar att med krossat berg från de av KBS studerade

---

1) I sitt remissvar över ansökan om laddning av Ringhals 3 uttlar Korrosionsinstitutet efter fördjupat studium att bly-titankapseln bedöms ha en livslängd på "åtminstone tusentals år och sannolikt betydligt mer. Denna bedömning väntas få stöd av en majoritet inom KI:s referensgrupp."

områdena och med de temperaturförhållanden och kemiska förhållanden som råder i djupa grundvatten aktiviteten kommer att fördröjas längre än man förut antagit. Viktiga långlivade ämnen beräknas ha 1 000 - 4 000 längre transporthastighet än grundvattnet. Verifikation under verkliga förhållanden är dock ännu bristfälliga.

3. Är KBS bestämning av grundvattnets ålder tillförlitlig?

KBS underlagsrapport i frågan är behäftad med vissa brister i fråga om referenser, primärdata och genomlysande diskussion. Expertgruppen för säkerhet och miljö har därför önskat få en särskild sakkunniggranskning av frågan.

Är åldersbestämningen korrekt utförd har man att räkna med något eller några tusentals år för vattnets transport från en eventuellt läckande kapsel till en dricksvattenbrunn eller sjö. Med ovan angivna fördröjningsfaktorer skulle minst hundratusentals år förflyta innan någon aktivitet skulle nå biosfären. I detta fall är frågan om god eller dålig kapsling rätt oviktig.

Om å andra sidan analysen skulle visa sådana brister att vattnet flyter fram på exempelvis bara 25 år kan säkerhetsanalysen med fog sättas ifråga trots fördröjningseffekterna.

En av de sakkunniga som expertgruppen övervägt att kalla har redan utfört ett betydande granskningsarbete. Slutresultaten innebär visserligen kritik och förslag ges till förbättrad metodik men den sakkunnige godtar dock preliminärt trovärdigheten i åldersbestämningen. Både åldersbestämning och strömriktningar, utloppsställen och inblandning av "borrvatten" bör dock studeras ännu mer inför den slutliga lokaliseringen av slutförvaret.

4. Kan kritiska mängder av något radioaktivt ämne i avfallslagret ansamlas på någon plats?

KBS uppfattning är att denna risk är synnerligen avlägsen. Då kritikalitet ändå möjligen kan tänkas anser expertgruppen för säkerhet och miljö att KBS ännu mer konkret borde ha visat hur den kan undvikas. Förslag till hur denna avlägsna risk helt skulle kunna elimineras föreligger.

5. Är det möjligt att finna områden i berggrunden som är tillräckligt stora samt tillräckligt täta och stabila under mycket lång tid?

Expertgruppen för säkerhet och miljö har diskuterat hur väl ett område kan beskrivas som är tillräckligt stort (1 à 2 km^2) och med tillräckligt avstånd till närmaste s.k. krosszon.

KBS har hävdat att man i de tre områden som studerats funnit tillräckligt goda förutsättningar för ett slutförvar. Expertgruppen vill för sin del gärna se ytterligare geologisk sakkunnig granskning eftersom gruppen ej haft tillgång till egen geologisk expertis.

En annan viktig diskussionspunkt, som ligger vid sidan av de förslag som KBS-rapporten omfattar, är frågan om förvaring av annat avfall med hög aktivitet än det förglasade avfallet. Inga väsentliga utvecklingsinsatser har hittills gjorts beträffande slutförvaring av det s.k. kapslingsavfallet. Även beträffande slutförvaring av vissa gasformiga klyvningsprodukter som f.n. släpps ut vid upparbetning återstår utvecklingsarbete.

Expertgruppen för säkerhet och miljö har vidare påpekat att risker orsakade av det plutonium som utvinns vid upparbetningen behöver belysas.

Expertgruppen pekar slutligen på de problem av politisk/administrativ natur, som är förknippade med den långa hanteringstiden för avfallet och uttalar en önskan om att en komprimering av tidplanen övervägs. En möjlighet kan vara att byggande av slutförvar påbörjas tidigare än som förutsetts för att medge mätningar av olika slag och genom att etappvis försluta fyllda tunnlar i slutförvaret.

4.5.9.6 Påverkan på säkerheten av alternativa antaganden och ny kunskap

Alternativa antaganden beträffande säkerhetsrealterade faktorer kan komma att påvera den totala riskbilden i ett slutförvar. Det är emellertid i detta sammanhang viktigt att beakta att ett flertal säkerhetsbarriärer förutsatts mellan avfallet och biosfären just på grund av den osäkerhet som råder i vissa avseenden.

Variationer i antagandena behöver därför inte nödvändigtvis påverka säkerhetsanalysens resultat. Det är tvärtom sannolikt att förändrade antaganden beträffande olika parametrer t.ex. avfallsglasets utlakningshastighet eller grundvattnets transporttid till biosfären i endast obetydlig omfattning påverkar slutförvarets säkerhet.

4.6 Avfallsmängder i kommissionens alternativ

Mängderna aska och slagg från kolförbränning är ungefär lika stora i kommissionens samtliga alternativ. Avfallskvantiteterna är betydande. En överslagsmässig beräkning visar att vid en genomsnittlig askhalt av 10% kan de ackumulerade mängderna fram till år 2000 uppgå till 14 à 15 milj. ton.

Avfallsmängderna från biomassa och torv beräknas under samma period uppgå till 5 à 6 milj. ton, varvid den högre siffran gäller för alternativen A och B och den lägre för alternativen C och D. Härvid har bl.a. antagits att askinnehållet i torv är genomsnittligt 3,5% och i energiskog 1,4%.

Avfallsmängderna från oljeförbränning är i samtliga alternativ obetydliga jämfört med de ovan nämnda avfallsmängderna.

Stora kvantiteter avfall från skifferbrytning förekommer i alternativ D med de beräkningsförutsättningar som använts i avsnitt 8.6.5 i huvudbetänkandet. Om en skifferbrytning i denna skala skulle komma till stånd - innebärande att hela kärnkraftprogrammet i alternativ D försörjs med skifferbaserad uran - skulle den ackumulerade avfallsmängden år 2000 kunna uppgå till 125 milj. ton.

Olika typer av radioaktivt avfall förekommer i varierande mängd i de olika alternativen. Mängderna redovisas i huvudbetänkandet, avsnitt 8.6.5. De ungefärliga relationerna framgår av följande ackumulerade mängder använt kärnbränsle:

		År 1990	År 2000
Alternativ	A:	800 ton	800 ton
"	B:	1 300 "	1 300 "
"	C:	2 700 "	5 600 "
"	D:	3 100 "	7 400 "

I runda tal har alltså fram till år 1990 fyra gånger så mycket högaktivt avfall bildats i alternativ D som i alternativ A. Mängderna låg- och medelaktivt avfall är år 1990 två à tre gånger så stora i alternativ D som i alternativ A. Som framgår av tabellen ökar differensen fram till år 2000.

5 KOMMISSIONENS BEDÖMNINGAR OCH STÄLLNINGSTAGANDEN

Beslut om vår framtida energiförsörjning innebär till stor del avvägningar mellan användning och tillförsel av energi och mellan olika energiråvaror (olja, kol, uran etc.). Vid sådana beslut måste hälso-, miljö- och säkerhetsproblemen vid produktion, förädling, distribution och användning av energi vägas in tillsammans med andra energipolitiska förutsättningar. Ingen del av energisystemet får härvid medföra oacceptabla hälso-, miljö- eller säkerhetsrisker. Det energisystem man väljer bör dessutom sammantaget och vid den avvägning som måste göras mot nyttan därav, ge minsta möjliga olägenheter från hälso- och säkerhetssynpunkt. Detta har kommissionen uttalat i sitt huvudbetänkande (SOU 1978:17).

Det vore önskvärt att kunna beskriva hälso- och miljöproblemen i mätbara termer t.ex. uttryckt i ekonomiska värden, för att underlätta jämförelser mellan olika energislag och avvägningar mot nyttan av energianvändningen. Men detta är endast undantagsvis möjligt. Avvägningarna får göras mot bakgrund av en beskrivning av olika risker.

För att underlätta sådana avvägningar har beskrivningarna utformats som jämförelser mellan olika energislag. Det är emellertid ofrånkomligt att olika individers värderingar skiljer sig både i fråga om vilka faktorer som skall beaktas vid värderingen och ifråga om dessa faktorers inbördes betydelse.

Hänsyn måste tas till hur nytta, kostnader och negativa biverkningar fördelas geografiskt, socialt och i tiden. De individer eller grupper som får nytta av verksamheten kan vara andra än de som står för uppoffringarna eller utsätts för olika risker. Vi får inte företa oss något som kan befaras medföra oacceptabla skador för våra efterkommande eller för vissa grupper i vårt samhälle eller i andra länder. Alla skador och risker måste vägas in i bedömningen, oavsett om de uppstår som en följd av många händelseförlopp med vardera få skadade eller på grund av enstaka större olyckor.

Osäkerheten i beslutsunderlaget måste beaktas. Beträffande risker för hälsa, miljö och säkerhet råder osäkerhet både därför att vi har bristande kunskaper

och genom att bieffekternas slumpartade natur ger en genuin osäkerhet om vad som kommer att hända i ett speciellt fall.

Strävan bör vara att komma fram till en enhetlig bedömning av olika verksamheter. Vid värderingen av olika tekniska möjligheter bör man betrakta utvecklingsmöjligheterna med samma grad av optimism eller pessimism oberoende av vilket energislag som bedömningen avser.

5.1 Risker för stora olyckor

Risker för olyckor med stora konsekvenser i form av sjukdomar och dödsfall eller omfattande miljöskador finns framför allt vid kolbrytning under jord, vid utvinninv, hantering, förädling och lagring av olja och gas, vid kärnkraftverk och vid vattenkraftdammar.

I kolgruvor finns risker för explosioner. Ras har medfört en lång rad svåra olyckor med stora förluster i människoliv som följd. I de mer tekniskt utvecklade kolländerna har motåtgärder satts in. Det har inneburit att antalet omkomna kunnat reduceras kraftigt. I länder med låg teknisk standard i gruvorna är riskerna väsentligt större. Det kan emellertid inte uteslutas att explosioner kan inträffa även i moderna, välskötta gruvo Även om omfattande motåtgärder sätts in kvarstår svåra arbetsmiljöproblem vid underjordsbrytning av kol.

Den största risken för allmänheten vid oljehantering finns enligt de utredningar kommissionen låtit utföra vid transporter av lätta oljeprodukter, t.ex. gasol, i tätorter. Även explosioner av tomma cisterner eller haverier av lager för blytillsatser för motorbensin på raffinaderiområden kan tänkas medföra sådana risker. Bränder i oljelager medför en kraftig rökutveckling men med hänsyn till oljelagrens lokalisering m.m. kan hälsoriskerna bland allmänheten bedömas vara små i de flesta fall. Oljeutsläpp vid tankbåtsolyckor kan leda till mycket allvarligare följder. Stora skador kan därvid drabba djurlivet och hela det ekologiska systemet inom stora områden. Särskilt känsliga är innanhav såsom Östersjön. Hälsorisker även för människor kan inte uteslutas.

Naturgas och andra i energiförsörjningen utnyttjade gaser har i länder med en utbredd gasdistribution medfört stora olyckor i form av t.ex. gasexplosioner i bostadshus. Vid en import av naturgas till Sverige skulle troligtvis de största riskerna vara knutna till import och lagring av LNG (kondenserad naturgas) samt till gasens vidare distribution till konsumenterna. Hypotetiskt kan olyckor med mycket stora konsekvenser tänkas vid hantering av LNG. Men detta förutsätter en lång rad olyckliga omständigheter vad avser bl.a. händelseförlopp, plats för olyckan, väderleksförhållanden m.m..

Om LNG skulle komma ifråga i vårt land bör lokaliseringen av sådana anläggningar noga övervägas även från säkerhetssynpunkt. Riskerna för och de tänkbara effekterna av en olycka motiverar att långtgående säkerhetsåtgärder vidtas.

Vid kärnkraftverk finns risker för haver som leder till nedsmältning av reaktorhärden, vilket kan leda till stora utsläpp av radioaktivitet. Detta förutsätter i allmänhet liksom ifråga om en LNG-olycka, en kombination av en lång rad olyckliga omständigheter.

Reaktoranläggningar utförs med flera oberoende säkerhetssystem så att man tar hänsyn till även sådana mycket ovanliga händelseförlopp som inte kan uteslutas även om sannolikheten bedöms vara mycket låg. Kommissionen har låtit utföra studier av riskerna för olyckor och konsekvenserna av dessa avseende händelseförlopp på en mer osannolik nivå. Bedömningen av dessa risker måste ske på grundval av teoretiska utredningar. De syftar bl.a. till att finna metoder för att än mer begränsa riskerna.

De utredningar som kommissionen har låtit utföra rör dels sannolikheten för en härdsmältningsolycka, dels konsekvenserna därav.

Vad gäller sannolikheten för en olycka kan man sammanfattningsvis konstatera att de olika utredningarna kommit till ungefär likartade resultat som den s.k. rasmussenrapporten, WASH-1400, som publicerats i en slutversion i USA år 1975. I denna rapport beräknas att en härdsmälta för de studerade typerna av lättvattenreaktorer kan inträffa i genomsnitt en gång på 20 000 reaktorår. En sådan beräkning utesluter givetvis inte att ett dylikt haveri kan inträffa när som helst. De hittillsvarande erfarenheterna av drift med kommersiella reaktorer är att ungefär 600 reaktorår uppnåtts utan att någon härdsmälta inträffat.

Det bör observeras att Rasmussen-utredningen uppskattar att sannolikheten för en härdsmälta är lägre för kokarreaktorer än för tryckvattenreaktorer. Rasmussen räknar även med en lägre sannolikhet för att en härdsmälta skall inträffa i de nyare reaktortyperna jämfört med de tidigast byggda. Detta beror bl.a. på utvecklingen mot allt bättre säkerhetssystem.

Vid en härdsmältning finns en stor risk för att såväl reaktortanken som inneslutningsbyggnaden kommer att genombrytas och att ett stort utsläpp av radioaktivitet kommer att ske. Dessa förlopp är emellertid svåra att förutsäga bl.a. därför att något erfarenhetsunderlag inte föreligger.

Även beträffande konsekvenserna av en eventuell reaktorolycka råder stor osäkerhet. Konsekvenserna är beroende av en rad faktorer bl.a. anläggningens lokalisering, rådande väderleksförhållanden, befolkningsfördelning och frågan om befolkningen evakueras eller inte m.m.. När

det t.ex. gäller meteorologin föreligger flera alternativa beräkningsmodeller som ger skilda utslag beträffande väderlekens inverkan på spridningen av det radioaktiva materialet.

Det kan emellertid konstateras att även vid ogynnsamt lokaliserade anläggningar är de mest troliga konsekvenserna för omgivningen av en härdsmälta begränsade. En sådan olycka kan likväl medföra allvarliga problem.

Vid ett stort haveri i en anläggning lokaliserad nära ett storstadsområde och mycket ogynnsamma omständighete t.ex. vindriktning mot befolkningscentra och ogynnsamma meteorologiska spridningsförhållanden, skulle människor kunna dödas eller skadas av radioaktiv strålning eller riskera cancer långt efter olyckan. Vid ett stort haver skulle vidare markområden, vars storlek beror på omstän digheterna, kunna bli belagda med radioaktivitet, vilke skulle innebära vissa begränsningar för områdets framtida användning. Ett omfattande och dyrbart saneringsarbete skulle bli nödvändigt.

De svåra konsekvenser som en i och för sig ytterst osannolik reaktorolycka kan medföra under ogynnsamma omständigheter motiverar fördjupade studier av vilka olik slags beredskapsåtgärder för evakuering, avskärmningar och sanering av områden etc. som bör vidtas. Det är här vid viktigt att bedöma vilka olika typer av haverier oc konsekvensbilder som kan vara så pass sannolika att det finns någon anledning att befara att de kan inträffa. Åtgärderna för att förebygga sådana olyckor bör intensi fieras i samband med att kunskaperna förbättras. Sannolikheten för olyckor är mindre i nya anläggningar genom deras förbättrade konstruktion. Fortsatt utvecklingsarbete är likväl angeläget för att än mer förstärka säkerheten. I detta arbete ingår även studier av insatser för att förbättra säkerheten hos redan befintliga reaktorer. Konsekvenserna av härdsmältningar kan minskas genom att införa ytterligare barriärer mot utsläpp och genom förbättrad beredskap.

Även vid övrig hantering av radioaktivt material i kärn bränslegången, bl.a. vid upparbetningsanläggningar, lager för använt kärnbränsle och högaktivt avfall finns vissa risker för stora utsläpp av radioaktivitet. Men det är klart att sannolikheten för ett stort utsläpp från sådana anläggningar är mindre än vad gäller kärnkraftverk. Även riskerna vid kärnvärmeverk förlagda i bergrum nära tätorter är mindre än vid kärnkraftverk.

I Sverige finns ett stort antal dammar för olika ändamål, främst vattenkraft. Vid mindre dammar har olyckor inträffat i Sverige bl.a. på grund av bristande tillsyn Vid dammar över 15 m har hittills inte någon sådan olycka inträffat i Sverige. En bearbetning av internationell statistik till svenska förhållanden ger vid handen att sannolikheten för brott på en sådan damm kan antas vara 0,01% per år dvs. en gång på 10 000 år under användningstiden.

Konsekvenserna av ett dammbrott är beroende bl.a. av var detta inträffar, hur händelseförloppet utvecklar sig och om befolkningen hinner sätta sig i säkerhet. Utomlands har sådana olyckor i flera fall krävt hundratals dödsoffer. Genom att de svenska dammarna oftast finns i glesbefolkade områden är omständigheterna i vårt land gynnsammare. Det finns dock svenska anläggningar som är så belägna att konsekvenserna av ett dammbrott skulle kunna bli mycket omfattande. En beredskap för sådana olyckor är motiverad liksom ett säkerhetsarbete för att förebygga dammbrott.

Sammanfattningsvis kan konstateras att sannolikheterna för stora olyckor är av samma storleksordning vid kolbrytning, oljehantering, kärnkraftverk och vattenkraftdammar. Konsekvenserna av en olycka är i hög grad beroende av omständigheterna vid olyckstillfället. De troligaste konsekvenserna av en olycka vid en vattenkraftdamm eller ett kärnkraftverk är av samma storleksordning. Men vid ett kärnkraftverk kan tänkas kombinationer av olyckliga omständigheter som skulle kunna leda till omfattande konsekvenser i form av döda och skadade samt radioaktiv markbeläggning. Det bör dock observeras att detta baseras på hypotetiska antaganden. Vid oljehantering är riskerna för mycket omfattande miljöskador störst i samband med utvinning och transport av olja till havs. Vissa risker för allmänheten finns främst vid transporter av lätta oljeprodukter i tätorter. De långsiktiga skadeverkningarna av stora oljeutsläpp framför allt i innanhav som Östersjön måste bedömas som mycket allvarliga. De största riskerna vid en naturgasimport till Sverige är förbundna med transport och lagring av LNG. Risken för stora olyckor synes härvid vara mindre än övriga risker nämnda ovan. Men de relativt stora tänkbara konsekvenserna motiverar ändå stor uppmärksamhet på dessa frågor om LNG skulle komma att importeras till Sverige.

5.2 Avfallsproblem

Avfall som måste deponeras uppkommer vid förbränning av olika bränslen, t.ex. kol, olja, biomassa, vid skifferbrytning och vid drift av kärnkraftverk. Underlaget för att bedöma inverkan på miljön, framför allt på lång sikt, varierar avsevärt mellan olika typer av avfall.

Avfall från kol uppstår vid brytning och förbränning. Endast förbränning är aktuell i Sverige. Härvid skapas miljöproblem dels genom de avsevärda askmängder som uppkommer vid förbränning, dels genom det slam som uppstår vid rökgasavsvavling. Kolaska innehåller en lång rad olika ämnen, bl.a. tungmetaller vars giftighet består för all framtid.

Väsentliga frågor är risken för att dessa tungmetaller lakas ur från ett avfallsupplag och vilka konsekvenser detta skulle få för ekosystemet. Dessa risker är ofullständigt kartlagda. Ett visst underlag finns beträffande tungmetallhalter och urlakningshastighet. Osäkerheten är störst vad gäller urlakning på lång sikt.

Olika åtgärder kan vidtas för att minska riskerna med urlakning, bl.a. ändra förbränningsprocessen, förlägga avfallslagren till tät lermark samt rena avrinnande ytvatten. Åtgärderna behöver verka under lång tid sedan anläggningen lagts ned. Vissa möjligheter finns även att utnyttja kolaska som fyllnadsmaterial men riskerna med detta är inte helt kartlagda. Metoder för att lösa dessa problem är ofullständigt utvecklade såväl tekniskt som ekonomiskt. Dessa frågor fordrar ett ingående studium i samband med en ökad kolanvändning i Sverige.

Rökgasavsvavling ger med de metoder som f.n. finns tillgängliga avfall i form av ett slam bl.a. bestående av kalciumsulfat och mindre mängder kalciumsulfit. Problemen med detta slam är betingade av dess stora volym och av risken för urlakning av svavelföreningar. Förbrännings- och reningsprocesserna kan utformas så att problemen med rökgasavsvavling reduceras.

Kolförbränning medför avfallsproblem av mycket långsiktig natur och stor oklarhet råder beträffande effekterna på miljön på mycket lång sikt av avfallsupplag. En samlad lösning av avfallsproblemen vid kolkraftverk krävs därför. För dagen saknas fullständig kunskap på en rad punkter. Det framstår som önskvärt och angeläget att snarast utveckla ett system för att ta om hand detta avfall efter samma strikta mall som gäller för det radioaktiva avfallet.

Även vid förbränning av andra bränslen som olja och biomassa uppstår aska. Bl.a. tungmetallinnehållet i askan kan medföra miljöproblem. Genom att askmängderna är mindre än vid koleldning kan avfallsproblemen bedömas bli av mindre storleksordning. Olika möjligheter finns att återanvända eller behandla avfallet.

Även vid rengöring av oljecisterner uppstår vissa avfallsmängder som måste tas om hand.

Vid skifferbrytning uppstår avsevärda avfallsmängder. Mängderna varierar beroende på vilken process och vilke fyndighet som utnyttjas. Efter krossning och urlakning av uran erhålls en lakrest som har en väsentligt större volym än den ursprungliga skiffern. Landskapspåverkan av skifferbrytning blir därför avsevärd även om dagbrottet återfylls med lakresterna. Risker finns för urlakning av tungmetaller om luft får tillträde och åstadkommer vittring. Vid en måttlig omfattning av skifferbrytningen kan lakresterna deponeras under grund vattennivån, varigenom vittringen och även vattengenomströmningen och utströmningen av radongas minskas avsevärt. Man kan även förbränna lakresterna varigenom volymen reduceras och energiinnehållet i lakresterna kan tillgodogöras. Därvid frigörs svaveldioxid och flyktiga metaller, varför långtgående reningsåtgärder blir nödvändiga för att begränsa utsläppen till atmosfären.

Vid användande av kärnkraft uppstår lågaktivt, medelaktivt och högaktivt avfall. Det använda bränslet innehåller - förutom oförbrukat uran och vid processen bildat plutonium - även klyvningsprodukter och övriga transuraner.

Det utbrända bränslet kan i princip hanteras efter två alternativa linjer. Det kan antingen upparbetas eller slutförvaras utan upparbetning. Upparbetningsalternativet innebär en fördel så tillvida att resturanet och plutoniet utnyttjas som energiråvara. Därigenom minskar andelen långlivade produkter som måste tas om hand för slutförvaring. Nära nog allt plutonium som bildats vid kärnklyvningen kan nämligen tillvaratas och återanvändas i lättvattenreaktorer. Ytterligare en fördel är att det sammanlagda behovet av naturligt uran för reaktordriften i världen minskar. Därigenom reduceras miljöbelastningen i samband med uranbrytning.

Det högaktiva avfall som måste tas om hand efter upparbetningen innehåller ett flertal olika radioaktiva ämnen. Genom att ca 99% av plutoniet har avskilts har den långsiktiga potentiella farligheten hos avfallet avsevärt reducerats. De ämnen som är av avgörande betydelse för säkerhetsbedömningen vid avfallsförvaringen utgöres av cesium och strontium. Dessa nuklider har korta halveringstider (ca 30 år) vilket innebär att strålningen är ofarlig efter ca 700 år. Detta innebär självfallet inte att avfallet från reaktorerna kan negligeras efter denna tid. Tvärtom. Men det innebär att det primära problemet är att övertygande visa att de första tusen årens förvaring kan ske utan risk för påverkan på biosfären.

En direktdeponering av det utbrända bränslet innebär däremot - främst på grund av den relativt sett stora andelen plutonium - att den tid under vilken materialet måste hållas avskilt utsträckes kraftigt. Den dominerande plutoniumisotopen i utbränt kärnbränsle har nämligen en mycket lång halveringstid (24 000 år). Fördelen med detta alternativ har ansetts vara att man ej framställer plutonium i ren form.

Alternativet upparbetning innehåller vissa riskmoment. Det vid processen avskilda plutoniet kan teoretiskt utnyttjas för framställning av kärnladdningar i terrorsyfte eller andra icke-fredliga syften. Särskilt risken för ökad kärnvapenspridning är allvarlig. Själva upparbetningsprocessen är tekniskt komplicerad och leder till problem med arbetsmiljön för personalen.

Kommissionen har under sitt arbete noga följt det utvecklingsarbete som pågår på olika håll i världen när det gäller hanteringen av utbränt bränsle och högaktivt avfall. Det kan konstateras att alternativet direktdeponering ännu så länge är ofullständigt belyst. Det är därför omöjligt att närmare utvärdera detta alternativ. Än mindre har det varit möjligt att entydigt avgöra huruvida det ena alternativet har avgörande fördelar före det andra.

Det finns anledning påpeka, att utnyttjandet av kärnenergi bygger på en relativt ny teknik. Det kan därför tänkas att kärnbränsleprocessen kan komma att förändras med sikte på förbättrade lösningar av avfallsproblemen.

Kommissionen vill framhålla att det inte nu är nödvändigt att från teknisk synpunkt binda sig för en viss bestämd handlingslinje när det gäller avfallshanteringen. Det använda bränslet kan lagras utan allvarligare problem i avvaktan på fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete.

Kommissionen vill i sammanhanget peka på den analys av hela detta problemkomplex som f.n. i internationellt samarbete pågår inom det s.k. INFCE-projektet. INFCE startades ursprungligen på amerikanskt initiativ. Huvudmotivet var att analysera hur olika alternativ för avfallets hantering och nya processer för kärnbränslecykeln kan tänkas påverka risken för kärnvapenspridning.

Kommissionen har i sitt huvudbetänkande kommenterat sambandet kärnkraft - kärnvapen. Därvid anförde kommissionen att det visserligen går att tillverka vapen genom att utnyttja det plutonium som bildats vid drift av kommersiella reaktorer men att en dylik framkomstväg måste betraktas som osannolik, eftersom det existerar ett flertal andra både ekonomiskt billigare och tekniskt mer lättillgängliga alternativ för vapenframställning. Kommissionen anförde också att det internationella kontrollmaskineri som byggts upp på detta område har väsentlig betydelse för att nedbringa riskerna för vapenframställning i det fördolda och för spridning av kärnvapen. Det är viktigt att länder som väljer att utveckla ett civilt reaktorprogram accepterar heltäckande kontroll av sina kärnenergianläggningar.

I den svenska debatten har uppmärksamheten vad gäller det högaktiva avfallet i första hand koncentrerats till den slutliga förvaringen. Bl.a. villkorslagen är ett uttryck för detta. Där krävs att en reaktorinnehavare skall kunna demonstrera hur och var en helt säker förvaring av avfallsprodukterna kan ske.

I kommissionens huvudbetänkande, avsnitt 8.6.5, finns redovisat uppkommande avfallsmängder i kommissionens olika alternativ. I detta avsnitt konstateras att Sverige, oavsett kärnkraftsprogrammets framtida omfattning, under alla omständigheter har att ta ansvar för en viss mängd högaktivt avfall. De redan idrifttagna reaktorerna producerar successivt nytt avfall. Vid ett fortsatt idrifttagande av de reaktorer som är under byggnad uppstår ungefär dubbelt så mycket använt bränsle till år 1990 som om beslut fattas om en successiv avveckling av kärnkraften till denna tidpunkt. Vid fortsatt drift efter denna tidpunkt ökar givetvis avfallsmängderna.

Kärnkraftens avfall - och framför allt då det högaktiva - representerar en potentiell risk för människa och miljö mycket långt fram i tiden. Ett villkor för en fortsatt kärnkraftanvändning måste därför vara att avfallet kan hanteras och slutligt förvaras på ett betryggande sätt. Det är därför av största vikt att det utvecklingsarbete som pågår här och på andra håll i världen beträffande avfallshanteringen och kärnbränslecykeln fullföljs. Vårt land bör därför också i vederbörliga internationella organisationer verka för kontroll av kärnkraftens fredliga utnyttjande.

Kommissionen har inte sett som sin uppgift att i detalj ta ställning till vilken lösning på avfallsfrågorna som bör förordnas. Detta motiveras bl.a. av att beslut om detaljutformningen av avfallshanteringen ej behöver fattas idag. Kommissionen har heller icke som uppgift att ta ställning till om villkorslagens krav är uppfyllt genom det s.k. KBS-projektet. Den uppgiften åvilar regeringen. Kommissionen har i stället försökt bedöma huruvida de olika tekniska lösningar som lagts fram erbjuder möjligheter att på ett betryggande sätt lösa problemet.

Kommissionen har genom sin expertgrupp för säkerhet och miljö gjort en ingående granskning av KBS-projektet. Vid denna granskning har framkommit några punkter där viss oenighet råder mellan anlitade experter.

Sålunda har frågetecken rests beträffande hållbarheten av den kapsel av bly-titan som KBS föreslår skall innesluta avfallsglaset. Vidare föreligger olika uppfattningar om grundvattnets hastighet i och kring slutförvaret. Vissa experter anser att frågan huruvida kritiska mängder av något radioaktivt ämne kan ansamlas i avfallslagret borde ha belysts ytterligare. Ytterligare en punkt, där enighet icke nåtts vid expertgranskningen, gäller frågan om KBS på ett trovärdigt sätt visat att det finns områden i den svenska berggrunden som är tillräckligt stora samt tillräckligt täta och stabila för att klara avfallsförvaringen. En faktor som kan få avgörande positiv påverkan på avfallslagrets säkerhet är fördröjningen av de radioaktiva ämnenas transport i grundvattnet. Det anses inte osannolikt att fördröjningen kan vara avsevärt större än KBS antagit men någon tillfredsställande verifikation föreligger ännu ej.

I vissa delar kan de frågor som rests beträffande enskilda detaljer i KBS-förslaget besvaras med kunskap som framkommit under remissarbetet. Så t.ex. har framförts från bl.a. Korrosionsinstitutet att användning av koppar i stället för bly-titan som kapslingsmaterial ger garantier för att kapseln står emot korrosion i handratusentals år.

Kommissionen avstår dock från att i detalj söka bedöma dessa faktorer var och en för sig. Däremot vill kommissionen understryka, att en slutlig bedömning av KBS-

projektet måste göras utifrån det förhållandet att förslaget till lösning innebär, att det radioaktiva mterialet för att kunna skada människa och miljö måste genombryta ett flertal barriärer. Denna uppläggning medför, vilket också framhålls i KBS:s säkerhetsanalys att enstaka brister i någon av barriärerna icke leder till att förslaget i dess helhet ej skulle ge tillfredsställande säkerhet.

Kommissionen kan konstatera att det för slutförvaring vårt land knappast torde finnas någon miljö som ger et bättre skydd mot en spridning av de radioaktiva produkterna i avfallet än täta och stabila delar av urberget. Fortsatta geologiska och hydrologiska detaljundersökningar är dock självfallet nödvändiga, innan beslut om lokalisering av ett slutförvar kan tas.

Vidare bör den framtida utvecklingen inom materialområdet följas noga. Fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete bör bedrivas för att förbättra och förfina de slutliga tekniska lösningarna av förvaringsproblemet. Hanteringen och lagringen av andra avfallskategorier som kan klassificeras som högaktiva, t.ex. kapslingsrester från brärslestavar och avskiljt plutonium - i den mån det betraktas som avfall - bör studeras ingående.

Av det arbete som bedrivits i KBS-projektet och av vad som i övrigt framkommit vid kommissionens granskning av avfallsfrågorna har kommissionen dragit slutsatsen att avfallet kan hanteras och slutförvaras på ett betryggande sätt.

Kommissionen vill i likhet med vad som framhölls i huvudbetänkandet understryka, att det inte idag är önskvärt att slutligt binda sig för en viss metod för avfallets hantering. Kommissionen förordar ett fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete i syfte att ytterligare förfina och förbättra metoderna.

5.3 Energikvalitet

En grundläggande princip i kommissionens huvudbetänkande är att söka bibehålla valfriheten i energisystemet. Detta gäller såväl energitillförseln som energianvändningen. Energitillförseln kan ske från ändliga energiråvaror såsom olja, kol, uran eller från solenergi direkt eller omvandlad i vindenergi, vattenkraft eller i växtmaterial. Sistnämnda grupp kallas här flödesenergi. Den kommer på grund av låg energitäthet att kräva en väl genomförd anpassning mellan energibehovet krav och energitillförselns kvalitet.

Energiomsättningen har ökat kraftigt i industriländerna under det senaste seklet. Många tekniska system har utvecklats och anpassats till stränga krav på tekniska prestanda och resursekonomi. Effektiva energiomvandlare såsom vattenturbiner, motorer och generatorer är exempel härpå. Ändå är industriländerna i flera avseenden ineffektiva i resursutnyttjningen. Inom energisektorn framträder detta bl.a. när man granskar lokaluppvärmning, persontransport med bil och många industriella processer. Inom dessa sektorer finns möjligheter att bättre anpassa energitillförseln till energianvändningen.

Ett samhälle som utnyttjar flödesenergi tvingas till en bättre anpassning mellan tillförsel och användning än ett som utnyttjar ändliga energiråvaror. Därigenom minskar sannolikt såväl resursanspråk som miljöbelastning.

Energiflödenas storlek begränsas av svårigheterna att koncentrera och omvandla solenergi. För att effektivisera energianvändningen och solenergins omvandling fordras att en ny teknik utvecklas. En kraftfull och väl organiserad insats krävs för att uppnå detta. Man bör eftersträva att system baserade på flödesenergi tar över en växande del av energiförsörjningen och därigenom kommer att utgöra ett reellt alternativ till system baserade på uran- och kolteknik.

5.4 Hälsorisker på grund av strålning i bostäder

Åtgärder för bättre hushållning med energi innebär i allmänhet minskade risker på grund av minskad total miljöbelastning. Även hushållningsåtgärder kan dock innebära risker för skadliga bieffekter. I kommissionens arbete har risker till följd av radonhaltigt byggnadsmaterial bedömts som ett problem som måste beaktas vid hushållningsprogrammens genomförande.

Som framgår av kapitel 2 innehåller bl.a. byggnadsmaterial grundämnet radium som genom sönderfall bildar ädelgasen radon. Inandning av stoft bestående av radioaktiva dotterprodukter till radon medför risker för lungcancer. Även radioaktiv strålning direkt från byggnadsmaterial medför vissa risker. Riskerna är störst i hus med extra radiumhaltigt byggnadsmaterial, t.ex. lättbetong på skifferbas. Tillverkningen av sådan lättbetong slutade 1975 men sådant material finns i en del av det befintliga byggnadsbeståndet.

En minskning av ventilationen i hus kan medföra ökade risker för lungcancer genom att radonkoncentrationen i inomhusluften då ökar, om inte andra åtgärder för att minska radonkoncentrationerna samtidigt vidtages. Riskerna är givetvis störst i hus byggda av material med särskilt hög halt av radioaktivitet eller på särskilt radioaktiv mark. Osäkerheten är stor beträffande hälsoeffekterna av en ökad radonhalt i inomhusluften i bostäder men enligt gängse antaganden på strålskyddsområdet ökar hälsoriskerna i proportion mot radonhalterna och därmed i omvänd proportion till luftväxlingen i bostaden. Tätningsåtgärder som minskar ventilation i sådana bostäder kan leda till att antalet lungcancerfall i framtiden ökar.

Att energibesparande åtgärder skulle medföra ökade risker för hälsan kan inte godtas. Det är därför angeläget att hälsoriskerna på grund av strålning i våra bostäder motverkas genom olika åtgärder främst av byggnadsteknisk natur, t.ex. materialval och ytbeklädnad av väggar. Betydande svårigheter finns emellertid att omedelbart genomföra omfattande sådana åtgärder i det befintliga byggnadsbeståndet, då radioaktiviteten i hus inte är kartlagd. Det är inte heller klarlagt, vilken minsta luftomsättning som är acceptabel och vilka tekniska motåtgärder som är lämpade för olika hustyper. Det måste därför närmare utredas vilka åtgärder som bör vidtas för att minska radonhalten i bostäder.

Strålskyddsinstitutet har tidigare lämnat information om problemet till planverket, byggnadsnämnder och hälsovårdsnämnder. Hänsyn har även tagits till detta vid utformningen av byggnadsnormer för nya hus. För den befintliga bebyggelsen är det särskilt angeläget att de mest radioaktiva husen uppspåras och kartläggs, så att olika motåtgärder kan genomföras och alltför låga luftomsättningar med risk för hälsan kan undvikas. Dessa problem bör klarläggas inför genomförandet av energibesparande åtgärder i bostadsbeståndet.

5.5 Kommissionens ställningstagande

Utredningsarbetet inom kommissionen har visat att samtliga energislag som i ett kortare tidsperspektiv kan ge mer betydande bidrag till vår energiförsörjning är förenade med risker för hälsa och miljö. Det gäller även energiomvandling som kan bli av större betydelse i framtiden, främst olika former av solenergi, även om sådan energiomvandling i dag tycks erbjuda väsentliga miljöfördelar. De miljö- och hälsorisker som är förenade med olika energiomvandlingsprocesser måste dels vägas mot varandra, dels bedömas mot bakgrund av processernas sociala nytta.

I huvudbetänkandet har kommissionen gjort en sådan avvägning. Den grundades på ett synnerligen omfattande bakgrundsmaterial, inte minst vad avser miljö- och riskfrågorna. De olika tänkbara handlingsalternativen bedömdes också med hänsyn till deras skiftande effekter på samhällsekonomin och därmed på landets ekonomiska och sociala utveckling.

Kommissionen konstaterade att Sverige i likhet med andra länder befinner sig i inledningsstadiet till en omfattande omställning på energiområdet. Den omställningen karaktäriseras av bl.a. totalt sett ökade energibehov i världen och ökad knapphet på dagens mest betydelsefulla energiråvara, olja. Omställningen präglas också av ett ökat hänsynstagande till hälso-, miljö- och säkerhetsrisker samt ekologiska krav. Det råder vidare en betydande osäkerhet om de framtida och långsiktigt bärande ersättningsalternativen.

Sverige är i en särskilt svår situation beroende på vårt mycket starka beroende av importerad olja. Den centrala energipolitiska uppgiften måste vara att beslutsamt minska oljeberoendet genom bl.a. kraftfulla hushållningsinsatser och utnyttjande av tillgängliga energialternativ. Vi måste förbättra vår försörjningstrygghet. Energipolitiken måste vidare utformas så att man uppnår största möjliga flexibilitet och handlingsfrihet. Detta ger möjligheter för successiv ersättning av olja och andra energikällor som ter sig ofördelaktiga från ekonomiska eller miljömässiga utgångspunkter. Dagens energipolitiska beslut får icke utformas så att de låser de långsiktiga utvecklingsmöjligheterna.

En viktig slutsats i kommissionens huvudbetänkande var, att man varken bör avveckla kärnkraften eller binda sig vid kärnkraften som en oundgänglig del av vårt energisystem genom en större ökning av kärnenergiverksamheten. Ett avvecklingsbeslut nu skulle medföra markant ökat oljeberoende, stora samhällsekonomiska uppoffringar och begränsa handlingsfriheten. Kommissionen förordade vidare en intensiv satsning på forskning, teknisk utveckling och demonstration i det dubbla syftet att dels få fram godtagbara och ekonomiskt rimliga alternativ till oljan, främst solenergi i olika former, dels begränsa hälso- och miljöriskerna med all slags energiomvandling.

Det material som läggs fram i det här föreliggande betänkandet måste givetvis bedömas i sammanhang med de övergripande analyser och slutsatser kommissionen tidigare redovisat. Olika energislags risker - t.ex. för olyckor med stora konsekvenser - måste avvägas inte bara mot tänkbara energialternativ utan också mot de risker och problem som t.ex. följer med otrygghet i energiförsörjningen.

Den självklara utgångspunkten för en bedömning är såsom tidigare framhållits att ingen del av energisystemet får medföra oacceptabla risker. Men gränsen mellan oacceptabla och acceptabla effekter kan inte anges på något enkelt och entydigt sätt. Bedömningen är naturligtvis i sista hand beroende av sannolikheten för att vissa effekter kan uppstå. Vad som är en rimlig fördelning mellan risk och nytta är också svårbedömt.

Ett samhälle kan inte acceptera ett energiförsörjningssystem som innebär väsentligt förkortad medellivslängd eller ett stort risktagande ens för mindre befolkningsgrupper. Men samhället kan heller icke i längden godta att en mycket otrygg försörjningssituation och stora risker för avbrott i energitillförseln med de effekter detta får på de sociala förhållandena och därmed också för miljö och människors hälsa.

Det material som här har presenterats bekräftar vad som framhölls i huvudbetänkandet, nämligen att bedömningen av olika energislags risker många gånger måste ske på ett förhållandevis bristfälligt kunskapsunderlag. Här finns också skillnader mellan olika energislag.

Det här föreliggande materialet har inte väsentligt kunnat minska osäkerheterna i bedömningarna.

Speciella problemen avseende säkerhet och miljö har studerats främst genom arbetena av kommissionens expertgrup för säkerhet och miljö. Sammanfattningar har gjorts i kapitel 1 till 4. Kommissionens bedömningar av detta underlag göres i föregående avsnitt av detta kapitel. Däri ingår även synpunkter på energikvalitet och dess betydelse i energisystemet.

5.5.1 Huvudbetänkandets slutsatser

På grundval av de efter huvudbetänkandet gjorda utredningarna skall här prövas om i betänkandet redovisade bedömningar och förslag förändrats genom tillgången på ytterligare information.

Prövningen avser kärnkraft, kol och naturgas. Vidare berörs frågan om framtida valfrihet.

Kärnkraft

Den tidigare refererade inställningen att bibehålla kärnkraft som en del i energisystemet grundades på bl.a. förutsättningarna att de negativa effekterna under normaldrift är tolerabla, att riskerna förknippade med mycket osannolika olyckor bedöms ligga inom godtagbara gränser och att tillfredställande tekniska lösningar för förvaring av högaktivt avfall skall finnas.

Hälso- och miljöeffekter från normaldrift av kärnkraftverk är gynnsammare än för olje- eller koleldade anläggningar. Detta framstod klart i huvudbetänkandet. Urananskaffningen för det svenska programmet är oklar liksom den därav orsakade miljöbelastningen. Utnyttjning av skiffer är en möjlighet. Det skulle innebära miljöproblem koncentrerade till brytningslokalen. Den information i dessa avseenden som tillförts kommissionens arbete sedan huvudbetänkandet presenterades, har bekräftat de uppfattningar som redovisades i huvudbetänkandet.

Risken för en stor olycka - härdsmältning - och dess effekter har studerats ingående. Metodiken i dessa undersökningar är i princip uppbyggd analogt med kärnkraftssäkerhetssystem, dvs. man söker utröna vad som kan inträffa om extremt ogynnsamma omständigheter samverkar. Det finns skiljaktliga bedömningar av reaktorsäkerheten såväl inom kommissionens expertgrupp som i andra studier.

Bedömningen av sannolikheten för en härdsmältning faller i stort sett inom samma osäkerhetsintervall i de gjorda utredningarna. Konsekvensstudierna har däremot lett till mer skiljaktliga resultat, främst vad avser markbeläggning.

Sannolikheten för en härdsmälta med de mycket allvarliga konsekvenser som kärnkraftskritiska granskare räknat fram är utomordentligt liten. Det bör också framhållas att säkerhetskraven successivt har skärpts och att teknisk utveckling har skapat förbättrad säkerhet. Sannolikheten för en härdsmälta i den typ av kokarreaktorer som nu byggs torde därför vara mindre än i en tidigare generation.

Kärnkraften ger upphov till ett avfall vars farlighet sträcker sig långt fram i tiden. Dessa, liksom andra avfallsproblem, måste angripas från utgångspunkten att vi icke bör företaga oss något som vi befarar på ett väsentligt sätt kan försämra livsbetingelserna för kommande generationer. Kommissionen har av det arbete som har bedrivits i KBS-projektet och vad som framkommit i övrigt dragit slutsatsen att det högaktiva avfallet kan hanteras och slutförvaras på ett betryggande sätt. Granskningen av KBS-projektet har dock pekat på vissa osäkerheter i bedömningen av element i systemet. Ett fortsatt utvecklingsarbete kan förväntas förbättra metoderna.

Beträffande kärnvärme tyder de gjorda studierna på att riskerna för olyckor är ännu mindre än för kärnkraft.

Den avgörande fråga som således måste besvaras är om de risker som otvivelaktigt är förenade med kärnkraften är godtagbara med hänsyn till de alternativ som står till buds och verksamhetens sociala nytta. Kommissionens svar på denna fråga är ja.

Det finns enligt kommissionens mening inte något i de nu framlagda studierna som ger någon anledning till ändring av de slutsatser och rekommendationer som kommissionen lade fram i sitt huvudbetänkande. Huvudbetänkandets slutsats att bibehålla kärnkraften i systemet men utan onödiga låsningar för framtiden framstår som väl avvägd. Som en viktig förutsättning för denna slutsats gäller, att man också fortsättningsvis utövar en mycket sträng tillämpning av säkerhetsteknik vid drift av reaktorer samt att fortsatt utvecklingsarbete i syfte att ytterligare minska sannolikheten för en härdsmältning bedrivs. Kommissionen anser vidare att alla rimliga åtgärder skall vidtas för att minska de möjliga konsekvenserna av en eventuell olycka.

Naturgas och kol

Utredningarna visar att naturgas, även LNG, sannolikt ger lägre risker för olyckor än konkurrerande energislag. Hälso- och miljöförhållanden vid normaldrift är mycket gynnsamma. Naturgas är således från miljö- och hälsosynpunkt ett fördelaktigt energislag. Detta faktum måste, som framhållits i huvudbetänkandet, avvägas mot ekonomiska faktorer samt önskemål om ökad försörjningstrygghet.

Utförda studier rörande olyckor i kolgruvor tyder på en dödsfrekvens som är större än den som uppskattats för kärnkraftverk. Därtill kommer att miljö och hälsopåverkan från normaldrift är allvarlig. Kompletterande utredningar sedan huvudbetänkandet lades fram rörande kolförbränning och dess miljöpåverkan har ej gjorts. Utredningar inom avfallsområdet visar att kol medför en allvarlig miljöbelastning, främst till följd av risker från tungmetaller. Huvudbetänkandets slutsats, att större övergång till kol fordrar miljövänligare teknik än konventionell förbränning, står sig vid den genomförda granskningen.

Framtida valfrihet

Ett effektivare energiutnyttjande genom ett ökat energisparande och en bättre anpassning i fråga om energikvalitet mellan energibehoven och den energi som tillhandahålls kan innebära fördelar från miljösynpunkt. Hänsyn härtill bör tas både i samband med olika energipolitiska beslut och vid genomförandet av energibesparande åtgärder.

Sålunda kan lågvärdig energi i spillvärme från industrier, i avloppsvatten, från solfångare etc., utnyttjas för ändamål där kravet på temperaturnivå är lågt, exempelvis för lokaluppvärmning. Vid särskilda tillämpningar, t.ex. där stora spillvärmeflöden finns tillgängliga eller där värme från vattendrag eller ytjord kan utnyttjas, kan värmepumpen få betydelse i framtiden. En förbättring i utnyttjandet av energikvaliteten kan även uppnås genom ett ökat utnyttjande av kraftverk för kombinerad produktion av el och hetvatten baserad både på bränslen och uran.

Frågorna om en bättre anpassning av den utnyttjade energins kvalitet till behoven bör studeras ytterligare. Den i huvudbetänkandet rekommenderade strategin att hålla alternativval öppna kräver särskilt starka insatser för att klargöra flödesenergins nyttiggörande. Detta har nära anknytning till de berörda kvalitets- och ekologifrågorna. Organisationen inom energisektorn bygger på teknisk tradition. Pågående utbyggnader leder naturligt till en övervikt för tillämpade former av energiråvaror oavsett dess meriter i förhållande till flödesenergi.

Kommissionen anser därför att utöver de forsknings- och utvecklingsinsatser som planeras för flödesenergin också fordras organisatoriska åtgärder för att detta alternativ framledes skall kunna värderas på ett i förhållande till nuvarande energisystem väl avvägt sätt. I annat fall finns risk att den av kommissionen förordade valfriheten inte blir reell i detta avseende.

5.5.2 Kompletterande synpunkter angående strålning i bostäder

Vid energisparande bör hänsyn tas till risker för negativa hälso- och miljöeffekter. Framför allt innebär en minskad ventilation genom tätningsåtgärder i hus byggda av skifferbaserad lättbetong ökade strålrisker på grund av radioaktiv radongas.

Effektiva motåtgärder bör vidtagas, främst av byggnadsteknisk natur, för att undvika att oacceptabla hälsorisker uppstår. Dessa frågor bör klarläggas i en särskild utredning. I samband med energisparprogrammet bör hus med särskilt radioaktivt byggnadsmaterial kartläggas samtidigt som lämpliga åtgärder och rekommendationer utarbetas.

5.6 Förslag

Kommissionen föreslår att Sverige i vederbörliga internationella organisationer verkar för normer och överenskommelser för hantering och kontroll av kärnkraftens fredliga utnyttjande.

För att förbättra säkerheten mot olyckshändelser inom energiförsörjningen föreslår kommissionen att

organisation och resurser när det gäller beredskap mot stora olyckshändelser av alla slag ses över,

forskningen på riskområdet ges ökade resurser,

Sverige i internationell samverkan verkar för skärpta bestämmelser beträffande utvinning och transport av olja till havs samt konstruktion av säkrare tankfartyg,

beredskapen mot stora oljeutsläpp, framför allt i Östersjön, förbättras och effektivare metoder för att samla in och ta upp löskommen olja utvecklas,

bestämmelser beträffande lagring och hantering av blytillsatser för motorbensin ses över,

riskerna med hantering och lagring av LNG studeras ingående före ett eventuellt beslut om import,

olika tänkbara förlopp som kan leda till en härdsmältning i en kärnreaktor studeras ytterligare och olika åtgärder som kan minska sannolikheten och verkningarna av reaktorolyckor utvecklas för både nya och befintliga reaktorer,

beredskapen vid reaktorolyckor ses över varvid evakuering av befolkningen och åtgärder vid radioaktiv markbeläggning studeras särskilt,

brottsannolikheten för dammar som används under långa tider studeras,

beredskapsplaner upprättas för de älvar där risken för stora dammbrott föreligger.

Vad gäller det högaktiva avfallet föreslås att

organisationen beträffande avfallshantering och avfallsförvaring ses över,

det arbete som KBS utfört och utför fullföljs dels med insatser av utvecklingskaraktär, dels med insatser för att successivt öka detaljeringsgraden för nödvändiga anläggningar,

Sverige verkar för att internationellt accepterade normer för säkerhet och kvalitet för slutförvar utfärdas och att kontrollen av nukleärt material skärps och regleras i internationella avtal,

frågan om hantering och förvaring av plutonium och kapslingsrester som uppstår vid upparbetning studeras.

Beträffande avfall från kol och olja föreslås att

system utarbetas för insamling av sot och aska från olje- och kolförbränning vid små anläggningar,

studier genomförs av långsiktiga effekter från askupplag.

Beträffande utsläpp av föroreningar från bränslen föreslås att

bilavgasutsläpp från fordonsdrift på metanol, blandningar av metanol och bensin samt s.k. wide-cut-bränslen studeras,

åtgärder vidtas för att stimulera teknik för avskiljning av kvicksilver ur rökgaser från skifferförbränning, kolförgasning och koleldning,

olika förbränningstekniska och reningstekniska åtgärder för att reducera utsläpp av polyaromatiska kolväten utvecklas,

från miljö- och hälsosynpunkt väsentliga metallers spridning, cirkulation och slutliga deposition studeras ytterligare,

kväveoxidernas bidrag till försurningen av mark och vatten fastställs,

sambandet mellan försurning och effekter av tungmetaller i mark och vatten studeras,

Sverige verkar för ytterligare internationella forskningsinsatser beträffande effekter av en ökad koldioxidhalt i atmosfären,

resurserna för epidemiologiska studier av olika hälsorisker förstärks.

För att skapa framtida valfrihet föreslås att lämplig organisation ges ansvaret för att flödesenergi och därmed sammanhängande energisystem studeras och utvecklas så att detta på ett rättvisande sätt kan beaktas vid fortsatta beslut om långsiktig inriktning av energipolitiken.

Beträffande strålning i bostäder föreslås att

olika byggnadsmaterials betydelse för radonhalten undersöks och att lättbetonghus med särskilt hög aktivitet lokaliseras,

lämpliga motåtgärder utprovas och genomförs,

forskningsinsatserna beträffande hälsorisker av strålning i bostäder förstärks.

RESERVATIONER OCH SÄRSKILDA YTTRANDEN

1 Reservation av ledamöterna Curry-Lindahl, Hambraeus, Kjellström, Kågeson och Sjönell

Motiv för reservationen

Expertgruppen för säkerhet och miljö har inför kommissionens slutbetänkande utarbetat ett omfattande och väl genomarbetat material baserat på tidigare publicerad information och ett stort antal egna utredningar. Rapporten innebär en bekräftelse av tidigare redovisade risker på kärnkraftområdet. Expertgruppens arbete och granskningen av projektet "Kärnbränslesäkerhet" (KBS) innebär också en mer utförlig och konkretiserad redovisning av problemen på avfallsområdet. Det har därigenom tillkommit betydelsefullt nytt faktamaterial.

En samlad expertgrupp står i allt väsentligt bakom rapportens innehåll. Undantag gäller avsnitten om kärnkraftens avfall, kärnvapenspridning och stora sällsynta olyckor där enstaka ledamöter i expertgruppen avgivit inbördes motstridiga särskilda yttranden[1]. Kommissionens underlagsmaterial beträffande radon i bostäder, stora olyckor och avfallsförvaring sammanfattas i kapitlen 2-4 i kommissionens slutbetänkande. Vi har inga större erinringar mot betänkandet i detta avseende.

Den osäkerhet som ännu råder beträffande de risker för hälso och miljö som energiförsörjningen medför framgår klart såväl av expertgruppens rapport som av kapitlen 3 och 4 i kommissionens slutbetänkande. Denna osäkerhet gäller inte minst för kärnkraftens risker där nya detaljerade analyser av osäkerheten tillkommit.

Enligt vår uppfattning måste denna osäkerhet tillmätas stor betydelse vid de energipolitiska beslut som nu måste fattas, särskilt som det är fråga om risker med

---

1) Motstridande särskilda yttranden föreligger av Lars Norberg och Torbjörn Westermark beträffande avsnittet om kärnkraftens avfall och av Per-Eric Ahlström och Lars Norberg beträffande avsnittet om stora sällsynta olyckor. Lars Norberg har även avgivit ett särskilt yttrande beträffande avsnittet om kärnvapenspridning.
Se närmare förordet till expertgruppens slutrapport Ds I 1978:27.

omfattande konsekvenser som delvis är av oåterkallelig natur. Detta är det huvudsakliga motivet till vår reservation.

Vi anser att utöver ett energisystems omedelbara risker är det betydelsefullt att ta hänsyn till eventuella konsekvenser för kommande generationer. Vi kan inte undandra oss detta ansvar i förhoppningen att de problem som uppkommer skall lösas i framtiden.

Reservationen är slutligen motiverad av att vi anser att kommissionens majoritet i flera avseenden tolkat det föreliggande faktamaterialet på ett felaktigt sätt eller inte alls beaktat det.

Kärnkraftens roll i den framtida energiförsörjningen

Ett fortsatt utnyttjande av kärnkraft måste förutsätta att vid en samlad bedömning av alla de allvarliga risker och olägenheter som kärnkraften medför, dessa bedöms som godtagbara och även som mindre allvarliga än de risker och olägenheter som ökad energihushållning eller annan ersättande energiproduktion innebär.

Vi utgår från att kommissionens majoritet delar denna uppfattning men vi anser att den vid sitt ställningstagande borde ha tagit större hänsyn till följande fakta:

Uranförsörjning

- En svensk uranbrytning i stor skala, som är en förutsättning för att kärnkraften skall kunna ge mer betydande bidrag till försörjningstryggheten beträffande energi i Sverige, leder till stora bestående landskapsförändringar, ingrepp i kulturmiljön, risk för grundvattensänkning samt risk för svavelförorening och urlakning av tungmetaller från lakrester.

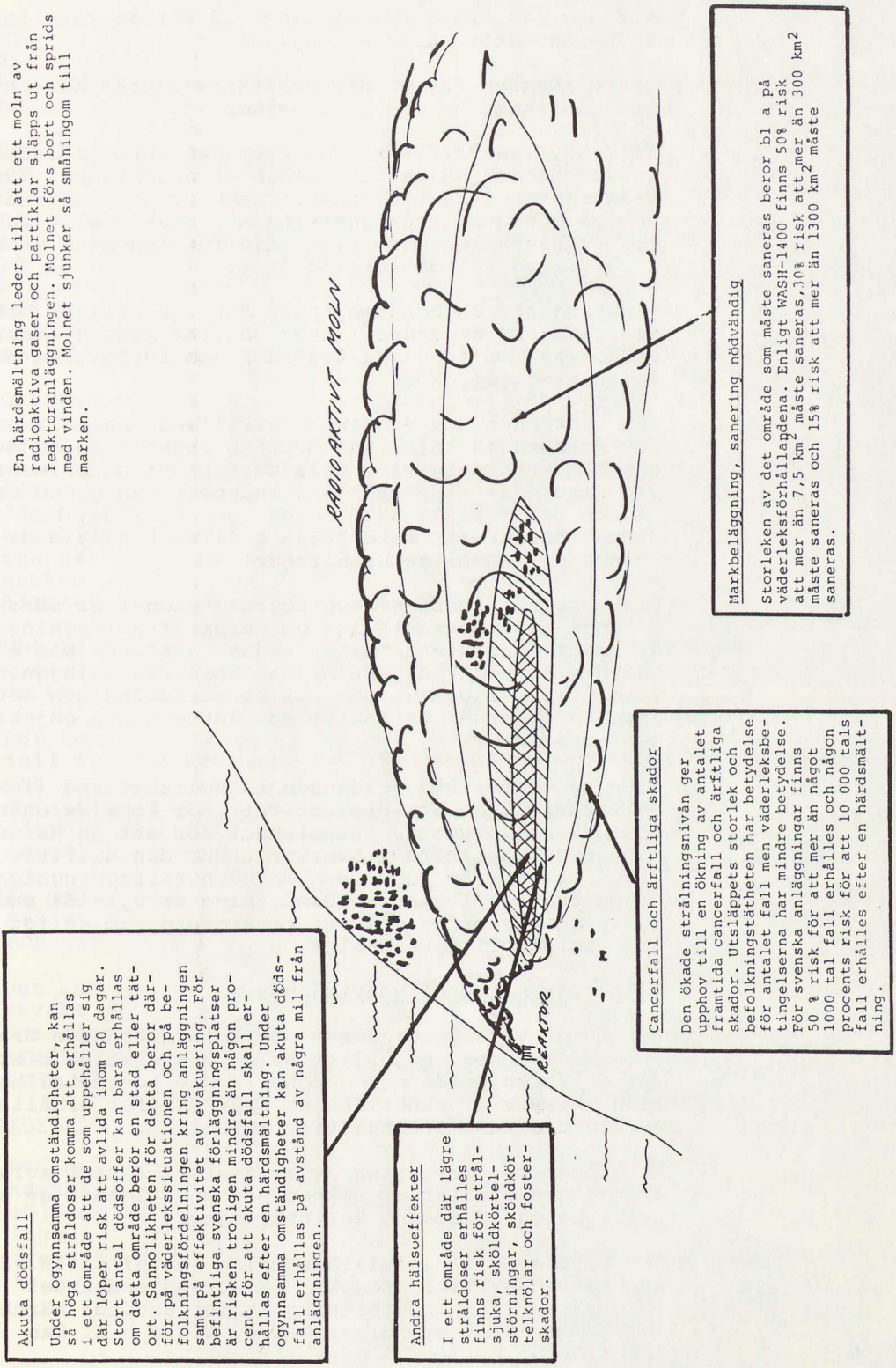
Härdsmältningsolyckor

- En härdsmältningsolycka i ett kärnkraftverk leder med stor sannolikhet till att stora landområden blir belagda med radioaktivitet och måste utrymmas. Den kan också leda till ett stort antal cancerfall, fosterskador och genetiska skador samt under ogynnsamma omständigheter till akuta dödsfall bland befolkningen på avstånd upp mot 20 km från anläggningen. Svårigheterna att evakuera stora tätbefolkade områden är uppenbara. De sociala och ekonomiska konsekvenserna blir mycket allvarliga. Någon beredskap för en sådan evakuering finns inte.

  Tänkbara konsekvenser av en sådan härdsmältningsolycka är illustrerad i figur 1.

- Avlägsnandet av de radioaktiva ämnen som spritts i omgivningen efter en härdsmältningsolycka kan leda till höga kostnader och svåra skador i natu-

Figur 1.


KONSEKVENSER AV EN HÄRDSMÄLTNINGSOLYCKA
En härdsmältning leder till att ett moln av radioaktiva gaser och partiklar släpps ut från reaktoranläggningen. Molnet förs bort och sprids med vinden. Molnet sjunker så småningom till marken.
RADIOAKTIVT MOLN
REAKTOR
Akuta dödsfall
Under ogynnsamma omständigheter, kan så höga stråldoser komma att erhållas i ett område att de som uppehåller sig där löper risk att avlida inom 60 dagar. Stort antal dödsoffer kan bara erhållas om detta område berör en stad eller tätort. Sannolikheten för detta beror därför på väderleksförhållanden och på befolkningsfördelningen kring anläggningen samt på effektivitet av evakuering. För befintliga svenska förläggningsplatser är risken troligen mindre än någon procent för att akuta dödsfall skall erhållas efter en härdsmältning. Under ogynnsamma omständigheter kan akuta dödsfall erhållas på avstånd av några mil från anläggningen.
Andra hälsoeffekter
I ett område där lägre stråldoser erhålles finns risk för strålsjuka, sköldkörtelstörningar, sköldkörtelknölar och fosterskador.
Cancerfall och ärftliga skador
Den ökade strålningsnivån ger upphov till en ökning av antalet framtida cancerfall och ärftliga skador. Utsläppets storlek och befolkningstätheten har betydelse för antalet fall men väderleksbetingelserna har mindre betydelse. För svenska anläggningar finns 50 % risk för att mer än något 1000 tal fall erhålles och någon procents risk för att 10 000 tals fall erhålles efter en härdsmältning.
Markbeläggning, sanering nödvändig
Storleken av det område som måste saneras beror bl a på väderleksförhållandena. Enligt WASH-1400 finns 50% risk att mer än 7,5 km² måste saneras, 30% risk att mer än 300 km² måste saneras och 15% risk att mer än 1300 km² måste saneras.

ren som kan kräva mycket lång tid för återställande i den mån detta alls är möjligt.

- Sannolikheten för en härdsmältningsolycka kan inte bedömas annat än med stor osäkerhet.

  Tillgängliga driftserfarenheter ger inte tillräcklig grund för att hävda att risken är acceptabelt låg. Osäkerheten i de teoretiska riskuppskattningarna är hög på grund av svårigheterna att beakta alla faktorer av betydelse, som t.ex. åldringsfenomen, sabotage och mänskligt felhandlande.

- Riskerna för en härdsmältning kan visserligen minskas med tekniska åtgärder liksom möjliga konsekvenser kan reduceras med tekniska åtgärder och förbättrad beredskap mot olyckor.

  Den osäkerhet som nu finns beträffande sannolikheten för en härdsmältning kan dock knappast undanröjas under överskådlig tid, dels därför att experiment som simulerar olycksförlopp knappast kan genomföras på ett realistiskt sätt av ekonomiska skäl, men främst därför att säkerheten till sist alltid är beroende av mänskliga handlingar.

- Riskerna för sabotage och terroraktioner är särskilt viktiga att beakta ifråga om kärnkraftanläggningar eftersom konsekvenserna av sådana aktioner kan bli ödesdigra. Under senare år har kärnkraftanläggningar utsatts för sabotage och hot om terrordåd och det är uppenbart att de betraktas som intressanta objekt av terrorister.

- Även de teoretiskt beräknade sannolikheterna (inklusive osäkerheter) som presenterats för kommissionen innebär en betydande sannolikhet för att en härdsmältning skall inträffa i Sverige under den drifttid som planerats för de redan byggda kärnkraftaggregaten. Sannolikheten för en härdsmältning är 0,1-10% under en femtonårsperiod med ett reaktorprogram enligt 1975 års energipolitiska beslut.

Avfall från kärnkraftutnyttjande

- Ett tungt vägande argument mot kolutnyttjande framför av kommissionens majoritet är de långsiktiga risker som är förknippade med deponering av tungmetallhaltig aska. Även vid uranutvinning från skiffer erhålls emellertid tungmetallhaltigt avfall.

  Problemen med förvaring av tungmetallhaltigt avfall från detta skiffer är räknat per energienhet av samma svårighetsgrad som om kol utnyttjas.

- Det förslag till avfallshantering som hittills lämnat av kraftindustrins projekt "Kärnbränslesäkerhet" (KBS) förutsätter att upparbetning av det använda kärnbränslet kommer till stånd, vilket av flera skäl kan ifrågasättas.

För direktdeponering av använt kärnbränsle föreligger ännu inga detaljerade förslag till tekniska lösningar, än mindre har sådana förslag kunnat utsättas för en nödvändig teknisk-vetenskaplig granskning.

- Det redovisade KBS-projektet omfattar endast förglasat avfall från upparbetning av använt kärnbränsle. Det innebär att höggradigt radioaktivt avfall som bl.a. innehåller det plutonium som bildas i reaktorn inte inbegrips i förslaget till tekniska lösningar på slutförvaringen. Det är särskilt anmärkningsvärt eftersom läckageriskerna från ett avfallslager ökar med tiden och den potentiella farligheten hos plutonium sjunker väsentligt långsammare än för det avfall som KBS-projektet behandlar.

- Omfattande kritik har riktats mot de antaganden som gjorts i detta projekt vid de teoretiska beräkningarna av de risker som förvaring av förglasat avfall från upparbetning i svenskt urberg kan medföra. Kritiken gäller samtliga "barriärer" som skall stoppa det höggradigt radioaktiva avfallets kontakt med mänskligheten och det biologiska kretsloppet. Kritiken gäller glasets och kapslingens livslängd, de geokemiska fördröjningarna och den geologiska stabiliteten.

- Det är också uppenbart att KBS-projektet inte kunnat visa att det går att finna någon plats som uppfyller de krav som projektets egna beräkningar bygger på.

- Det tekniska förslag till förvaring av förglasat avfall från upparbetning som föreligger, förutsätter att ansvaret för den slutliga deponeringen av avfallet överlåts på framtiden. KBS-projektet bygger på förutsättningar som gör att slutförvaringen tidigast kan genomföras om 40 år.

- En mängd ytterligare problem föreligger också. Det gäller bl.a. hanteringen av uttjänta kärnkraftverk och riskerna i samband med transporter.

- Det kan med hänsyn till ovanstående fakta inte anses styrkt att de förslag till hantering och förvaring av det långlivade höggradigt radioaktiva avfall från kärnkraftverk som nu föreligger är genomförbart med höga krav på säkerhet för kommande generationer.

Kärnvapenspridning

- Den nuvarande tekniken för upparbetning av använt kärnbränsle måste ur teknisk synpunkt anses ge goda möjligheter för utnyttjande av civila kärnkraftanläggningar för produktion av plutonium för kärnvapenframställning.

- Det har ifrågasatts från många håll om den nuvarande internationella övervakningen av produktion, hantering och förvaring ger tillräckliga garantier mot avledning av klyvbart material för vapenproduktion.

- Tekniska lösningar avsedda att försvåra utnyttjande av upparbetningsanläggningar för produktion av klyvbart material för vapenframställning har föreslagits. Utvärdering av dessa förslag pågår och det är ännu för tidigt att bedöma om dessa förslag innebär tillräckliga garantier mot kärnvapenspridning.

- Sverige har, liksom USA, beslutat att tills vidare icke tillåta upparbetning av använt kärnbränsle med hänsyn till risken för att det plutonium som utvinns vid upparbetningen skall utnyttjas för vapenproduktion. Om tillfredsställande garantier mot detta inte kan skapas kvarstår även fortsättningsvis ett allvarligt hinder för upparbetning.

  Detta innebär att använt kärnbränsle måste direktdeponeras. Hur detta skall kunna utföras är ännu inte klarlagt.

Slutsatser och förslag

Med hänsyn till dessa fakta anser vi att ingen utbyggnad av kärnkraftverk utöver 10 aggregat får ske[1]. Ett stopp för fortsatt utbyggnad av kärnkraften ökar förutsättningarna för en övergång till ett energisystem baserat på förnyelsebara energikällor. En utbyggnad av vattenkraften bör dock inte ske utöver vad som vi enskilt sagt i reservationer och särskilda yttranden till huvudbetänkandet.

En rad åtgärder är nödvändiga för att möjliggöra en snabb avveckling av kärnkraften utan elransonering eller driftsinskränkning inom industrin.

De utredningar som utförts av kommissionens expertgrupp för energitillförsel och som redovisats i kommissionens huvudbetänkande, illustrerar klart de låsningar till kärnkraft som finns i det nuvarande elproduktionssystemet. Åtgärder som kan förkorta avvecklingstiden bör därför vidtagas t.ex. i form av åtgärder för att undvika ytterligare låsningar till elenergi som energibärare samt planering av alternativa produktionsanläggningar.

---

1) Detta antal aggregat avsågs av Kai Curry-Lindahl då han anslöt sig till det av majoriteten avfattade yttrande i kommissionens huvudbetänkande, vilket vid flera tillfällen preciserats. Se också det särskilda yttrandet av Kai Curry-Lindahl.

Det gäller bl.a. åtgärder på elvärmeområdet, förberedande åtgärder för planering av produktionsanläggningar för alternativen till kärnkraft, åtgärder för förnyelsebara energikällor samt ett hänsynstagande till dessa krav i den kommunala energiplaneringen.

På grund av riskerna i samband med haverier föreslår vi att evakueringsplaner skall upprättas och att de statliga myndigheternas kontrollfunktioner förstärks tills dess samtliga kärnkraftverk tagits ur drift.

Ett avbrytande av den svenska kärnkraftutbyggnaden innebär givetvis omställningsproblem för den svenska kärnkraftsindustrin och för alla de människor som är sysselsatta med anläggningsarbeten för kärnkraftverk. Av huvudbetänkandet framgår att ett energiförsörjningssystem som i ökad utsträckning är baserat på förnyelsebara energikällor innebär behov av utrustning och anläggningsarbeten som är större än vad en fortsatt kärnkraftsutbyggnad kräver. På sikt kan därför en avbruten kärnkraftsutbyggnad knappast innebära några problem från denna synpunkt utan snarare ha positiva effekter.

Under den övergångstid som är oundviklig måste staten i samråd med berörda företag och arbetstagarorganisationer säkerställa att meningsfulla arbetsuppgifter finns. Den kompetens som finns i Sverige på det kärntekniska området bör i första hand utnyttjas för att bearbeta de problem som inte enkelt kan lösas genom att upphöra med kärnkraft. Det gäller till exempel att finna metoder för hantering av avfallet som innebär de minsta riskerna på kort och lång sikt samt att minska riskerna för ytterligare spridning av kärnvapenteknologi.

2 Reservation av ledamoten Curry-Lindahl

Enligt direktiven till energikommissionen skall den ingående belysa kärnkraftens säkerhetsfrågor. Detta måste enligt min uppfattning innebära att energikommissionen i sina slutliga rekommendationer om olika energikällor tar full hänsyn till nyssnämnda säkerhetsfrågor. Därför har det för mig varit obegripligt att energikommissionen lämnat ett huvudbetänkande (SOU 1978:17), som till stor del gäller kärnkraften, innan säkerhetsfrågorna slutgiltigt hade diskuterats och innan expertgruppen för säkerhet och miljö hade lämnat sin slutrapport.

Ovanstående arbetsordning betyder att överväganden och förslag i huvudbetänkandet endast gäller under förutsättning att det i energikommissionens efterföljande utredningsarbete inte framkommit något som väsentligt ändrat förutsättningarna för de rekommendationer som gavs i huvudbetänkandet.

Vid sammanträdet med energikommissionen den 26-28 februari 1978, då huvudbetänkandets rekommendationer beslutades, ställde jag frågan om att majoritetens ställningstagande i huvudbetänkandet, som alltså fattades innan säkerhetsfrågorna slutgiltigt behandlats, måste innebära att vi senare kan bli tvingade att modifiera eller ändra den uppfattning om kärnkraften som uttrycks i huvudbetänkandet. Denna fråga besvarades jakande av ordföranden.

Detta förhållande var för mig av avgörande betydelse, då jag anslöt mig till majoritetsförslaget. I mitt särskilda yttrande (SOU 1978:17, s.645-656) betonar jag detta (s. 646): "Härtill (=utöver villkorslagen) kommer att ytterligare material beträffande kärnkraftens säkerhetsproblem skall presenteras för energikommissionen under våren 1978. Detta nya material kan av säkerhetsskäl medföra att förslagen i energikommissionens huvudbetänkande måste modifieras eller ändras".

Jag har alltså uppfattningen att alla ledamöter i energikommissionen var överens om att vårt ställningstagande om kärnkraften i februari 1978 var preliminärt tills vi hade slutbehandlat säkerhetsproblemen.

Under perioden mars-juni 1978 har energikommissionen dels genom sin egen expertgrupp för säkerhet och miljö, dels genom det s.k. KBS-projektet jämte andra källor tillförts nytt material gällande kärnkraftens säkerhetsfrågor. Också från utlandet har nya data erhållits. Alltså har ytterligare uppgifter tillkommit, vilka i betydande grad belyser problemen beträffande säkerhetsfrågorna.

En analys av dessa nytillkomna uppgifter visar otvetydigt att väsentliga fakta gällande avfallets slutförvar har ändrat de förutsättningar, som låg till grund för energikommissionens huvudbetänkande av februari 1978. Detta bekräftas av dokumentation, föredragningar och diskussioner inom energikommissionen under de senaste månaderna. Det framkom exempelvis med överväldigande tydlighet vid den "hearing" med experter inom korrosionsforskning, geologi och hydrologi, som avhölls vid energikommissionens sammanträde den 8 juni 1978, att stark oenighet och osäkerhet råder i flera utomordentligt viktiga och avgörande frågor rörande kärnkraftavfallets slutförvaring.

Detta hindrade inte att majoriteten inom energikommissionen omedelbart efter denna "hearing" i slutbetänkandets slutkapitel fastställde bl.a. följande två uttalanden, nämligen att det inte ges "någon anledning till ändring av de slutsatser och rekommendationer som kommissionen lade fram i sitt huvudbetänkande" resp. att "kommissionen har av det arbete som har bedrivits i KBS-projektet och vad som framkommit i övrigt dragit slutsatsen att det högaktiva avfallet kan hanteras och slutförvaras på ett betryggande sätt".

Mot bakgrund av vad som framkommit sedan huvudbetänkandet lagts anser jag att ovanstående uttalande vittnar om en anmärkningsvärd oansvarighet.

Citerade yttrande tycks också negligera de slutsatser som energikommissionens egen expertgrupp för säkerhet och miljö nyligen framlagt efter 18 månaders intensivt och grundligt arbete. Majoritetens ställningstagande tycks basera sig på förhoppningar, inte på säker kunskap.

Senaste månaders framkomna dokumentation och föredragningar för energikommissionen har pekat på en mängd för säkerhet och miljö betydelsefulla frågor, som kräver ytterligare utredningar och undersökningar, innan tillfredsställande svar i ena eller andra riktningen kan erhållas. Enligt min mening kan inte ett ansvarsfullt och försiktigt ställningstagande från energikommissionens sida göras i dessa för nutid och framtid så oerhört viktiga frågor, innan de besvarats eller åtminstone ytterligare belysts. Vid energikommissionens sammanträde den 25 april 1978 tog jag upp denna problematik och pekade på omöjligheten för energikommissionen att inom utsatt tidsram avge ett slutomdöme om säkerhetsfrågorna.

I mitt särskilda yttrande till energikommissionens huvudbetänkande (SOU 1978:17, s. 645-656) diskuteras (s. 647-648) hälso- och miljöskadeeffekterna i Sverige, förorsakade av olja, kol och kärnkraft som energikällor. Med reservation för "de potentiella risker som är förknippade med nukleära energikällor, genom att problemen gällande absolut säker förvaring av avfallsprodukterna ännu inte är lösta på ett betryggande sätt", bedömde jag att en fortsatt användning av olja och kol innebär "ett större miljöhot än vad kärnkraften f.n. utgör". Denna bedömning gjordes alltså på basis av hittills vunna erfarenheter i och utanför Sverige. Jag har alltjämt samma uppfattning under förutsättning att kärnkraftens avfallsproblem kan bemästras på ett acceptabelt sätt ur hälso- och miljösynpunkter. Tyvärr kan detta f.n. inte garanteras.

Det är alltså främst på grund av nuvarande osäkerhet om riskfri, långvarig lagring av kärnkraftens avfallsprodukter, som jag reserverar mig mot majoritetens bedömningar och ställningstaganden. Det förefaller av majoritetsyttrandet att döma som om dess tillskyndare och undertecknare trots allt inte är helt säkra på hållbarheten i deras påståenden. Det sägs exempelvis i kap. 5.3. "att det primära problemet är att övertygande visa att de första tusen årens förvaring kan ske utan risk för påverkan på biosfären". Några stycken längre fram heter det: "Fortsatta geologiska och hydrologiska detaljundersökningar är dock självfallet nödvändiga innan beslut om lokalisering av ett slutförvar kan tas". Och i 5.5.1. sägs det: "Granskningen av KBS-projektet har dock pekat på vissa osäkerheter i bedömningen av element i systemet". - "Kommissionen anser vidare att alla rimliga åtgärder skall vidtas för att minska de möjliga konsekvenserna av en eventuell olycka". Ytterligare liknande citat skulle kunna göras.

Emellertid är det inte enbart problemen med kärnkraftens avfallsprodukter som väcker betänksamhet. Kärnkraftverken själva utgör efter att ha tjänat ut efter ca 30 års användning ett nukleärt ruinproblem, som varken berörts eller utretts. Det torde vara minst lika allvarligt som frågan om avfallets slutförvar. Också det radioaktiva nedfallets effekter på mark, vatten och näringskedjor efter en reaktorolycka utgör en svag och undervärderad punkt i säkerhetsresonemanget. Outredda är även de enorma miljöeffekter som kan vållas genom åtföljande nödvändiga avgiftningsprocesser, som kan innebära totalt undanröjande av vegetation och djur samt uppgrävande av mark inom berörda områden, vartill kommer problemen med av vattensystemen transporterade radioaktiva ämnen. Radioaktiva föroreningar i sötvatten eller hav innebär en fara för alla livsformer i aldrig tidigare känd omfattning. Enligt min mening har inte heller säkerheten vid de många transporter av radioaktivt avfall i olika stadier tillräckligt belysts och analyserats. Det är ju omfattande transporter av utbränt bränsle i flera led (reaktor - centrallager - upparbetning - mellanlager - slutförvar) som erfordras. Alla dessa flyttmoment innebär risker.

Det är emellertid i första hand de risker som f.n. är förknippade med slutförvaringen av kärnkraftens avfallsprodukter som utgör motivet för min reservation.

3. Särskilt yttrande av ledamöterna Hambraeus och Sjönell

ATT VÄLJA ENERGISYSTEM

Vi instämmer i majoritetens konstaterande i kap. 5.6 att Sverige i likhet med andra länder befinner sig i inledningsstadiet till en omfattande omställning på energiområdet.

Vi anser det väsentligt att klarhet skapas så fort som möjligt om vilken typ av energisystem som bör avlösa oljeepoken.

Kommuner, hushåll, näringsliv och andra organisationer behöver besked för att kunna ställa in sin planering rätt. Olika energisystem ställer olika krav.

"Uran-Sverige"

I 1975 års energipolitiska riksdagsbeslut genomdrev majoriteten mot centerns och vpk:s reservationer, en fortsatt kärnkraftsutbyggnad. Syftet sedan mitten av 50-talet har varit att låta kärnkraften successivt överta allt större andel av energiförsörjningen.

Organisatoriskt har vi redan kommit långt på väg mot "Uran-Sverige" även om kärnkraften ännu bara svarar för ca 4 % av vår energiförsörjning.

El-producenterna har blivit allt färre och mäktigare och distributionen har centraliserats. Kapitalmarknaden är van att tillåta kraftbolagen investeringar som motsvarar mer än hälften av deras totala omsättning varje år. Miljardtals kronor investeras årligen i kärnkraftutbyggnad och många företag är intresserade av att få leverera till kraftbolagen. El-värme har etablerats som normal och rekommenderad uppvärmningsform. Industrin och kommunerna har erbjudits billig el från nätet som alternativ till egen mottryckskraft och fjärrvärme. Kärnkraften betalar inte sitt pris utan subventioneras av statliga medel och av billig vattenkraft. Energiförsörjningen byggs upp på ett litet antal stora byggarbetsplatser, där kringflyttande specialister arbetar.

Om inte ett beslut fattas som ändrar inriktningen, kommer vi att låsas allt hårdare till "Uran-Sverige".

"Sol-Sverige"

De förslag vi framför i vår reservation till detta betänkande innebär en målmedveten omställning till "Sol-Sverige", ett energisystem byggt på inhemska, förnyelsebara energikällor: solvärme, solkraft, vind, vatten, biomassa. Solen som åstadkommer dem, förser jorden med 30 000 gånger mer energi än vad som används idag. Dessa energikällor tar aldrig slut som de lagrade

(t.ex. olja och uran) och vi kommer att lära oss att utnyttja dem allt bättre. Men redan idag finns det teknik utvecklad för att ett sådant system kan börja byggas upp.

Tillförsel, några exempel

Den redan utbyggda vattenkraften, väl tillvaratagen, bildar stommen. Biomassa svarar redan för en större del av vår energiförsörjning än kärnkraften, genom ved och lutar i skogsindustrin. Nu outnyttjad lövved, skogsavfall och under en övergångstid torv kan omedelbart börja användas. Många kommuner kan klara uppvärmning och producera el i kraftvärmeverk och genom arbete med egna naturtillgångar säkra sin energiförsörjning. Tekniken för detta finns beprövad men kommer snabbt att bli allt bättre. För att få fart på forskning och utveckling måste systemen emellertid börja tillämpas.

Vindkraften kan byggas med teknik som kommit till användning inom andra områden. Solpaneler säljs redan för att ta tillvara solvärmen för uppvärmning. Problemet att lagra energi synes också ha funnit en användbar lösning. Nära kommersiellt genombrott är en metod att i en saltlösning kemiskt lagra t.ex. solvärme som utan förlust kan tas fram vid behov. En tank saltlösning, som är dubbelt så stor som en oljetank skulle behöva vara för samma energiutveckling, skulle räcka utan påfyllning år ut och år in för hela uppvärmningsbehovet till lokalkomfort och varmvatten där den installeras. Energikommissionen har beretts tillfälle att skaffa närmare kunskap om denna viktiga nyhet.

Bränsleceller och solceller är lovande utvecklingsområden som förtjänar kraftfullt stöd.

Forskning men också marknad behövs

Den stora satsning på forskning, utveckling och demonstrationsanläggningar som riksdagen nyligen beslutat om på regeringens förslag, kommer att utvidga våra möjligheter till ett allt elegantare och resurssnålare energisystem. För att få riktig fart på verksamheten måste det finnas en viss säkerhet om att det blir en marknad för systemet, att efterfrågan skapas. Detta måste ske genom beslut att stoppa kärnkraften och satsning på "Sol-Sverige". Man kan nämligen inte räkna med att näringslivet kommer att utveckla produkter som passar för "Sol-Sverige" om huvudinriktningen i praktiken är "Uran-Sverige".

I Sol-Sverige

sker produktionen i hela landet, eftersom energikällorna lämpligen tas tillvara där de finns och solenergin finns överallt. Kapitalet fördelas på ett stort antal

mottagare (hushåll, fastighetsägare, kommuner, små och större företag etc.). Människor kommer att arbeta på ett mycket stort antal mindre arbetsplatser. Kommunerna kommer att få mer att säga till om i fråga om energiförsörjningen och kommer att ha stort behov av brett utbildade personer med förmåga att anpassa lokala energikällor till lokala förhållanden. Det centrala el-systemet som i Uran-Sverige dominerar sin omgivning kommer i Sol-Sverige att vara dominerat av sin miljö och huvudsakligen fungera som reserv- och back-up-system.

Det är svårt att förena ett energisystem som bygger på sol med ett som bygger på uran, därför att de båda systemen kräver olika sorts organisation och skapar olika sorters samhällen:

Tänkbara skillnader i olika dimensioner mellan Uran- och Sol-Sverige

	Uran'Sverige	*Sol-Sverige*
Kapitalmarknaden	Stora kapitalmängder skall fördelas på ett litet antal (en enda?) mottagare.	Stora kapitalmängder skall fördelas på mycket stort antal mottagare (hushåll, fastighetsägare, kommuner, företag).
Anläggningsverksamheten	Litet antal stora byggarbetsplatser. Kringflyttande specialister.	Mycket stort antal mindre arbetsplatser. Krav på att folk kan olika sysslor.
Ansvarsfördelningen centralt/lokalt	Kommunala vetorätten måste förmodligen upphävas för energisektorns komponenter. Förstärkt centralmakt visavi lokala organ.	Vissa rättigheter och friheter som enskilda hushåll nu har måste förmodligen överföras till kommunala organ. Stärker lokala organ visavi enskilda hushåll osv.
Ansvarsfördelningen offentligt/privat	Sammanvävda intressen förvaltning/storföretag.	Sammanvävda intressen kommunala organ, bostadsområden, lokala arbetsplatser.
Professionella grupper	Stort behov av högt kvalificerade specialister. Teknokratisk elit.	Stort behov av brett utbildade personer med förmåga att anpassa lokala energikällor till lokala förhållanden.
Centrala elsystemet	Dominerar sin omgivning/miljö.	Dominerad av sin miljö. Fungerar huvudsakligen som reserv- och back-up system.

Källa: Sol eller Uran - att välja energiframtid, Måns Lönnroth/Thomas B. Johansson/Peter Steen, Sekr. för framtidsstudier (Tabell 26).

Hushållning: att få ut mer nytta av mindre

De flesta kilowattimmarna tillgänglig energi finns i form av låg värme d.v.s. naturligt lagrad solenergi runt omkring oss. Denna har låg kvalitet och kan inte användas till så mycket som energi med hög kvalitet,

t.ex. olja och el. Men för att tillfredsställa 50 % av vårt energibehov behöver vi bara lågkvalitetsenergi. Hälften av den energi vi köper går till att värme hus och varmvatten. Nu gör vi detta på ett slösaktigt sätt genom att använda olja och el för att höja temperaturen endast några grader. Man skulle kunna få ut mycket mer nytta av så högkvalitativ energi. Att energihushålla inom bostadssektorn betyder att ordna värmeförsörjningen på ett intelligentare sätt, som därför inte är krångligt och lära oss att ta tillvara den energi som finns omkring oss. Självfallet skall inte hygienen eftersättas. En lagom, frivillig ventilation måste ordnas. Värmeväxlare kan komplettera utrustningen. Att bygga med kvalitet och omsorg kommer att förbättra arbetsglädjen och ekonomin. Det ambitiösa hushållningsprogram för bostadssektorn som riksdagen antagit på regeringens förslag ger förutsättningar för detta.

Också inom industrin kommer en effektivare teknik att göra det möjligt att spara på högkvalitativ energi. Mängden energi som köpts för att utföra en viss prestation (den specifika energianvändningen) har sjunkit med ca 30 % under senaste 20 åren trots relativt sett sjunkande energipriser (Lönnroth m.fl. op.cit).

Genom att man får ut mer nytta av den högkvalitativa energin, dit man även kan räkna t.ex. biomassa, har man råd att betala mer för den mindre kvantitet man behöver. Det innebär att det går att få godtagbar ersättning för att arbeta med att ta tillvara t.ex. spillved, torv och andra inhemska bränslen och att det kanske också kan vara värt det att omvandla dem till mer lätthanterliga energibärare.

Det gäller alltså att få ut mer nytta av mindre kvantitet inköpt energi. Hushållning skall inte ses som en negation: att snåla och inte unna sig något. Hushållning är att vara omsorgsfull, kunnig och uppfinningsrik. Orsaken till att vi inte går tillbaka till något 1800-tal även om vi delvis återvänder till deras energikällor är att vi med modern teknik kan utnyttja dessa bättre och skaffa fram dem på enklare sätt.

Arbetstillfällen och export

Det är nu en ovanligt lämplig tid att göra en stor satsning på att börja byta till ett nytt, inhemskt energisystem. Strukturkrisen ger anledning till nytänkande. Lågkonjunkturen innebär att det nu finns outnyttjad kapacitet i näringslivet. Att ta tillvara inhemska naturtillgångar som nu inte används och som långsiktigt lovar att bli konkurrenskraftiga måste också vara en klok satsning i en situation då exportindustrins produkter inte efterfrågas i samma höga grad. Vi importerar olja för mer än 15 miljarder kronor per år. Alla är överens om, åtminstone i teorin, att detär önskvärt och nödvändigt med ett minskat oljeberoende.

Sverige har goda möjligheter att komma med betydelsefulla nyheter inom det förnyelsebara energisystemet som skulle kunna bli eftertraktade också utomlands. Det måste vara lättare för oss att hävda oss inom detta fält, där man inte behöver enorma kapitalsatsningar för varje produkt. Dessa produkter skulle också passa länder som nu är fattiga och kunna hjälpa till att skapa större rättvisa och tryggad försörjning utan att de behöver bli beroende av utländskt kapital, som när det gäller kärnkraft och olja.

4 Särskilt yttrande av ledamöten Kjellström

Inledning

Energikommissionen har i sitt slutbetänkande redovisat ytterligare material avseende hälsoeffekter, haveririsker och risker vid avfallshantering och avfallsförvaring samt på grundval av detta och tidigare presenterat material framlagt sina slutliga bedömningar och ställningstaganden.

Det nya faktamaterial som presenteras i kapitlen 2-4 i slutbetänkandet bygger i allt väsentligt på den redovisning som gjorts av kommissionens expertgrupp för säkerhet och miljö. Jag har inga allvarliga invändningar mot kommissionens slutbetänkande i detta avseende, men vill framhålla att expertgruppens rapport, helt naturligt, i många avseenden ger en betydligt fylligare bild.

Bilaga 2 i slutbetänkandet redovisar ett försök till översiktlig sammanställning av de svenska remissvaren beträffande prövning enligt villkorslagen av Ringhals 3. Den begränsade tid som stått till förfogande har inneburit att jag inte har haft möjlighet att studera dessa remissvar på ett ingående sätt. Jag vill därför understryka att jag inte nu är beredd att ta ställning till om den sammanfattning som gjorts i bilaga 2 ger en rättvisande bild av de synpunkter som framförts.

I en reservation gemensam med ledamöterna Kai Curry-Lindahl, Birgitta Hambraeus, Per Kågeson och Bengt Sjönell har jag anfört att kommissionens majoritet vid dess slutliga ställningstagande underlåtit att ta hänsyn till väsentliga fakta.

Jag vill i detta särskilda yttrande närmare precisera detta och även utveckla mina synpunkter på hur frågor rörande hälsa och miljö bör värderas vid val mellan olika energialternativ.

Slutligen vill jag här ge en utförligare redovisning av min inställning till kärnkraftens roll i det svenska energisystemet än vad som kunnat göras i den gemensamma reservationen.

Allmänt om avvägningar mellan hälso- och miljöeffekter och andra faktorer

De formuleringar som använts i det inledande avsnittet i kapitel 5 kan ge intryck av att kommissionen menar att det på något sätt skulle vara önskvärt att uttryck hälso- och miljöeffekter t.ex. i ekonomiska termer.

Jag vill bestämt vända mig mot detta och framhåller att en mångdimensionell avvägning är oundviklig även om man på något sätt söker överföra alla faktorer till en enda dimension.

Detta innebär till exempel att hälsoeffekter av normaldrift inte kan jämföras på något enkelt sätt med hälsoeffekter orsakade av stora och sällsynta olyckor.

Jag delar den uppfattning som framförs av kommissionens majoritet att man bör utföra jämförelser med samma grad av optimism respektive pessimism. Jag vill emellertid framhålla att kommissionen tidigare (huvudbetänkandet sid. 281) uttalat att vid osäkerhet i beslutsunderlaget ett högt risktagande från samhällets sida är svårt att försvara särskilt när det gäller omfattande irreversibla effekter. Detta måste tolkas så att man i dylika fall bör utgå från relativt pessimistiska bedömningar vid beslutsfattande.

Jag anser inte att kommissionens majoritet har följt denna princip vid bedömning av kärnkraftens olycksrisker, risker med förvaring av lakrester från uranutvinning och risker med förvaring av kärnkraftens högaktiva avfall.

Detta kommenteras ytterligare i det följande.

Risker för stora olyckor

När det gäller risker för stora olyckor har kommissionens majoritet i viktiga avseenden valt att inte beakta faktaunderlag som redovisats från expertgruppen för säkerhet och miljö och som sammanfattas i kapitel 3.

Kol

Kommissionen har enligt min uppfattning inte tillräckligt diskuterat möjligheterna att minska de risker för stora olyckor som en svensk kolanvändning skulle medföra.

Jag har föreslagit att kommissionen bör anföra att det bör övervägas att det som villkor för en omfattande kolimport ställs krav på att utvinning och hantering i övrigt sker under iakttagande av rimliga krav på arbetarskydd, vari bör ingå åtgärder syftande till att minska riskerna för stora olyckor. Sådana villkor kan givetvis endast ställas när det gäller långtidskontrakt. Sådana kontrakt bör emellertid av försörjningstrygghetsskäl vara en förutsättning för en omfattande kolanvändning i Sverige, se även huvudbetänkandet avsnitt 10.4.4.3.

Kommissionens majoritet har valt att icke beakta detta vilket är anmärkningsvärt med hänsyn till att kommissionen tidigare varit enig om att ett ökat utnyttjande av kol i Sverige bör komma till stånd.

Kärnkraft

Ifråga om härdsmältningsolyckor har kommissionens majoritet tydligen valt att helt bortse från den stora osäkerheten som föreligger ifråga om sannolikheten för en härdsmältning. Kommissionens majoritet anför att hittills 600 driftårs erfarenhet föreligger i stora lättvattenreaktorer utan att någon härdsmälta inträffat. Att denna drifterfarenhet inte ger tillräcklig grund för att bedöma sannolikheten för härdsmältning som acceptabelt låg tycks man ej medveten om.

Det borde också ha framhållits, vilket tydligt framgår av rapporten från expertgruppen för säkerhet och miljö, att det kan krävas lång tid för att väsentligt minska denna osäkerhet, och att en betydande osäkerhet alltid kommer att kvarstå på grund av svårigheten att uppskatta sannolikheten för mänskliga felhandlingar, sabotage m.m.

Kommissionens majoritet har även valt att blunda för det faktum att även en så låg sannoliket för härdsmältning som den som angivits i Rasmussen-utredningen innebär en betydande risk för att en härdsmältning skall inträffa i Sverige även om antalet reaktorer begränsas till vad som omfattas av 1975 års energipolitiska beslut om dessa reaktorer drivs i 30 år . Detta framgår klart av den rapport som lämnats av expertgruppen för säkerhet och miljö avsnitt 20.5.

Det påpekande som gjorts av kommissionens majoritet beträffande sannolikhet för härdsmältning i reaktorer av olika typer visar en tydlig brist på förståelse för begränsningarna i det faktaunderlag som föreligger. Skillnaden mellan de två anläggningar som studerades i Rasmussen-utredningen är inte signifikant och resultatet kan inte generaliseras på det sätt som gjorts av kommissionens majoritet.

Diskussionen av konsekvenserna av en härdsmältningsolycka ger en förskönad bild i jämförelse med det faktamaterial som presenterats i kapitel 3.

Det har framställts som om ett stort antal cancerfall endast kan erhållas under mycket ogynnsamma omständigheter. Detta är felaktigt vilket klart framgår av kapitel 3. Det bör även observeras att de totala konsekvenserna ifråga om cancerfall har underskattats i Rasmussen-utredningen. Beräknas cancerrisken med utgångspunkt från kollektivdosinteckningen erhålles större konsekvenser.

Kommissionens majoritet har enligt min uppfattning inte tillräckligt klart framhållit att beläggning av stora markområden med radioaktivitet är en ganska sannolik konsekvens av en härdsmältning. Att så är fallet framgår tydligt av kapitel 3.5 i slutbetänkandet.

De miljöskador som orsakas vid sanering av markområden som belagts med radioaktivitet nämns inte och inte heller hälsorisker för de människor som sysselsätts med saneringen - det senare är i påtaglig obalans i förhållande till diskussionen av risker vid oljeutsläpp.

Den behandling kommissionens majoritet har givit frågan om härdsmältningsolyckor innebär enligt min uppfattning att man har tagit ett steg tillbaka till tiden före den seriösa diskussionen av de osäkerheter som vidlåder teoretiska riskuppskattningar av det slag som gjorts i Rasmussen-utredningen.

Energi och miljö-kommittén (SOU 1977:67) har i detta avseende presenterat en väsentligt mer nyanserad bild som bättre svarar mot vetenskapens nuvarande ståndpunkt, se sid. 36 och sid. 197-204 i denna utredning.

Jämförelser mellan olika energislag

De onyanserade slutsatser kommissionen har dragit ifråga om riskjämförelser mellan olika energislag saknar grund i det faktamaterial som förelagts.

Riskjämförelser mellan vattenkraft och kärnkraft är inte av särskilt stort intresse eftersom vattenkraft och kärnkraft inte är konkurrerande energikällor.

Av det material som framlagts i kapitel 3 framgår klart att kärnkraften innebär risker av fler slag än vad som är tänkbart vid olyckor i samband med användning av olja, kol och naturgas, men också att de möjliga konsekvenserna i flera avseenden är mer omfattande.

Avfallsproblem

Allmänt

Expertgruppen för säkerhet och miljö har i sin slutrapport framhållit att avfallsproblem bör betraktas med utgångspunkt från överväganden beträffande följande faktorer:

- Möjligheter att minska avfallsproduktionen samt att nyttiggöra producerat avfall så att alla produkter ingår i cykliska förlopp.
- Typ av giftverkan från giftigt avfall. (Dosberoende effekt eller "Allt eller intet effekt" - giftighet betingad av atomära eller molekylära egenskaper)
- Avfallets innehåll av giftiga ämnen i relation till de mängder av samma mängder som vid andra verksamheter i samhället hanteras, släpps ut eller ingår i avfall som produceras.
- Riskerna för att giftiga ämnen skall läcka ut från avfallet till biosfären i relation till motsvarande risk för läckage i det naturliga tillståndet och risk för påverkan av biosfären orsakad av hantering, utsläpp eller avfallsproduktion vid andra verksamheter i samhället.

  Dessa risker är beroende av, men inte entydigt bestämda av mängderna av de giftiga ämnena.

Kommissionens majoritet har enligt min uppfattning inte i tillräcklig utsträckning tagit hänsyn till dessa faktorer och heller inte beaktat att en rimlig princip för avfallshantering bör vara att den som producerat avfallet också måste bära ansvaret för att det hanteras och förvaras på ett betryggande sätt.

Tungmetallhaltigt avfall

När det gäller tungmetallhaltiga avfall från förbränning av kol, olja, torv och biomassa liksom lakrester från uranutvinning ur skiffer finns en anmärkningsvärd obalans i beskrivningen av problemen och möjligheterna att finna tekniska lösningar för tillfredsställande långtidsförvaring.

Det framgår såväl av den rapport som lämnats av expertgruppen för säkerhet och miljö som av slutbetänkandets kapitel 4 att problemen är av samma karaktär och storleksordning för kolaska och lakrester. Av den text som kommissionens majoritet ställt sig bakom förefaller det som om kolaska innebär stora problem medan lakrester knappast innebär några problem. Detta är grovt vilseledande.

Kommissionens majoritet anför "att det framstår som önskvärt att snarast utveckla ett system för att ta hand om detta avfall (avfall från kolkraftverk) efter samma strikta mall som gäller för det radioaktiva avfallet". Även om det finns all anledning att vara uppmärksam på tungmetallproblemen förefaller förslaget illa genomtänkt dels därför att energisektorns tungmetallproblem utgör en mindre del av de totala tungmetallproblemen, dels därför att giftigheten hos tungmetaller och radioaktiva ämnen inte kan jämföras på något enkelt sätt.

Radioaktivt avfall

När det gäller radioaktivt avfall hävdar kommissionens majoritet att det primära problemet vid förvaring av upparbetningsavfall är att visa att de första tusen årens förvaring kan ske utan risk. Slutsatsen bygger på en användning av farlighetsindex som inte är meningsfull, vilket också framgått av den diskussion av detta begrepp som redovisas i kapitel 4 i slutbetänkandet. Det som i själva verket är avgörande är sannolikheten för att radioaktiva ämnen frigörs, transporteras till ekosystemet och där leder till väsentligt ökad dosbelastning. Även om avfallets relativa giftighet sjunker snabbt under de första tusen åren, ökar samtidigt risken för frigörelse av de radioaktiva ämnena. Det primära problemet är därför snarare att visa att de "barriärer" som skapats för att förhindra kontakt till biosfären inte bryts ner snabbare än avfallets farlighet avtar.

Att kommissionens majoritet kan betrakta det enbart som en teoretisk möjlighet att plutonium utvunnet vid upparbetning av kärnbränsle kan utnyttjas för framställning av kärnladdningar är minst sagt märkligt.

Kommissionens majoritet framhåller att det ur teknisk synpunkt inte är nödvändigt att nu binda sig för en bestämd handlingslinje när det gäller avfallshanteringen.

Detta är givetvis korrekt men det innebär ingen ursäkt för en fortsatt avfallsproduktion om man inte har förvissat sig om att det föreligger tekniska möjligheter att lösa problemen och om man inte kan skapa politiskt-administrativa garantier för att acceptabla lösningar kommer att utnyttjas.

Den sammanfattning av diskussionen kring KBS-projektet som kommissionens majoritet ställt sig bakom är enligt min uppfattning inte rättvisande. Den samstämmighet i den tekniska kritik i vissa frågor som framförts av de specialister som anlitats för granskningen av projektet framgår inte. Bland sådana frågor märks frågan om vilket avfall som bör beaktas, glasets livslängd, behandlingen av geokemiska aspekter och risken för kriticitetsolyckor

När det gäller frågan om KBS-projektet visat att det finns lämpliga områden för placering av ett slutförvar som uppfyller de krav som ställs beträffande stabilitet, täthet, hydrologiska förhållanden m.m., är det väsentligt att notera att allvarliga invändningar har riktats mot projektets förslag. Detta finns närmare dokumenterat i remissvaren beträffande prövning enligt villkorslagen för Ringhals 3.

Kommissionens majoritet understryker att flera "barriärer" måste genombrytas för att radioaktiva ämnen skall läcka ut till biosfären men underlåter att ta hänsyn till att enighet råder om att alla dessa "barriärer" successivt bryts ner, det gäller inkapslingen, glaset och den geologiska/geokemiska barriären, och att allvarliga invändningar har riktats mot fullständigheten i det material som presenterats av KBS-projektet för att styrka de antaganden som gjorts beträffande livslängden hos samtliga dessa barriärer.

Hälsorisker på grund av strålning i bostäder

Ifråga om hälsorisker orsakade av energibesparande åtgärder gör kommissionens majoritet ett anmärkningsvärt avsteg från de värderingsprinciper som presenteras i inledningen till kapitel 5, i det man säger "Att energibesparande åtgärder skulle medföra ökade risker för hälsan kan inte godtas".

Enligt min uppfattning bör här, liksom ifråga om hälsorisker från energiproduktion en avvägning göras mellan olika alternativa möjligheter att klara energiförsörjningen så att det totalt sett bästa systemet väljes.

De formuleringar som kommissionens majoritet har ställt sig bakom ger vidare intrycket att problemen med strålning i bostäder skulle försvåra genomförandet av de energihushållningsprogram som behandlats i huvudbetänkandet.

Som framgår av kapitel 2 i slutbetänkandet och den rapport som lämnats av expertgruppen för säkerhet och miljö är så inte fallet.

Det borde ha framgått att en begränsad luftväxling, i enlighet med vad som antagits vid kommissionens uppskattning av den framtida energiförbrukningen, förefaller leda till ökade hälsorisker endast i en mindre del av det befintliga byggnadsbeståndet. Även om denna del undantas ifråga om tätning och andra åtgärder för att minska luftväxlingen påverkas den framtida energiförbrukningen endast marginellt. I dessa bostäder kan motsvarande energibesparingar åstadkommas med andra åtgärder.

Hälsorisker orsakade av strålning i bostäder påverkar därför inte kommissionens tidigare bedömningar av den framtida energikonsumtionen. Dessa risker innebär emellertid att val av byggnadsmaterial för nya byggnader och att inriktning av energibesparande åtgärder i vissa befintliga hus påverkas.

Kommissionens ställningstaganden

De ställningstaganden som gjorts av kommissionens majoritet bygger enligt min uppfattning på en missuppfattning av det faktamaterial som presenterats, ett ensidigt urval av fakta eller på i grunden andra värderingar än de som redovisats i kommissionens huvudbetänkande.

Kommissionens majoritet anför att ett beslut att avveckla kärnkraften nu "skulle medföra markant ökat oljeberoende, stor samhällsekonomiska uppoffringar och begränsa handlingsfriheten". Dessa påståenden kan ej styrkas av det faktamaterial som lagts fram av kommissionen, se närmare mitt särskilda yttrande till kommissionens huvudbetänkande.

Kommissionens majoritet anför vidare att "det finns skiljaktiga bedömningar av reaktorsäkerheten såväl inom kommissionens expertgrupp som i andra studier" och att "sannolikheten för en härdsmälta med de mycket allvarliga konsekvenser som kärnkrafskritiska granskare räknat fram är utomordentligt liten". Enligt min uppfattning borde det ha framhållits att avvikande uppfattning endast redovisats av en ledamot av expertgruppen och att de sannolikheter och konsekvenser som uppskattats i de studier som gjorts för kommissionens räkning överensstämmer väl med vad som uppskattats i den s.k. Rasmussen-utredningen. Att man anser sannolikheten för en härdsmältning liten är svårt att förstå med hänsyn till den betydande ackumulerade risk som föreligger redan vid drift av det planerade antalet reaktorer under dessas livslängd.

Kommissionens majoritet har dragit den enligt min mening förhastade slutsatsen att avfallet kan hanteras på ett betryggande sätt. Denna slutsats kan inte bygga på något annat än förhoppningar om att de kvarstående frågor som identifierats skall kunna lösas och förhoppningar om att det kommer att vara möjligt att finna en lämplig plats för ett slutförvar. Det är knappast ägnat att inge förtroende för kommissionens objektivitet och strävan efter saklig prövning att kommissionen baserat ställningstaganden av detta slag på den av tidsskäl ytliga granskning av KBS-projektet som kommissionen utför.

Kommissionens majoritet anser tydligen slutligen att avfallsproblemen vid koleldning utgör ett tungt vägande skäl mot omfattande kolanvändning men vill inte se motsvarande problem vid uranutvinning ur skiffer som ett skäl mot utnyttjande av kärnkraft. Detta skulle endast

kunna försvaras om kommissionen anfört betänkligheter mot uranutvinning ur skiffer och rekommenderat ett kärnkraftutnyttjande anpassat till möjligheterna att utvinna kärnbränsle ur andra fyndigheter.

Kärnkraftens roll i den framtida energiförsörjningen

I den reservation till kommissionens slutbetänkande som jag avgivit tillsammans med ledamöterna Kai Curry-Lindahl, Birgitta Hambraeus, Per Kågeson och Bengt Sjönell anför jag att inget färdigställande av kärnkraftverk utöver 10 aggregat bör ske.

Skälet till detta ställningstagande är att jag anser att det vore mycket oklokt att ytterligare öka andelen kärnkraft i energiförsörjningssystemet så länge betydande osäkerhet råder beträffande kärnkraftens risker. Jag är också av den uppfattningen att flera problem av betydelse för bedömningen av risker för kärnvapenspridning, stora utsläpp av radioaktivitet och långsiktig förgiftning av omgivningen orsakad av läckage från avfallslager, är av den karaktären att tekniska lösningar är svåra att verifiera och vidare att enbart tekniska lösningar inte är tillräckliga för att tillfredsställande säkerhet skall kunna uppnås. De förslag till tekniska lösningar som idag föreligger ställer enligt min uppfattning alltför höga krav på de politiskt/administrativa system som erfordras för att tillgodose rimliga krav på säkerhet.

Jag anser det inte uteslutet att man i framtiden skall finna tekniska lösningar som ökar förutsättningarna för att uppnå de höga krav på säkerhet som måste ställas. Till dess bör man enligt min uppfattning upprätthålla handlingsfrihet för att kunna avveckla kärnkraften under en avvecklingsperiod som inte överstiger 5-10 år.

En begränsning av antalet aggregat är då nödvändig och det förefaller av många skäl lämpligt att avbryta utbyggnaden nu. Åtgärder måste också, som framhålles i reservationen, vidtagas för att möjliggöra en snabb avveckling av kärnkraften.

Drifttagningen av aggregaten 7 till 10 är givetvis beroende av om villkorslagens bestämmelser beträffande helt säker förvaring av det högaktiva avfallet kan anses uppfyllda.

Det ankommer icke på kommissionen att ta ställning till detta men jag vill ändå här peka på att ett svenskt godkännande av en plan för avfallsförvaring som helt säker, utan en mycket ingående teknisk vetenskaplig granskning kan innebära stora risker för att Sveriges anseende utomlands skadas.

De granskningar av KBS-projektets förslag som gjorts i Sverige och utomlands har utförts under stark tidspress och jag vill därför ifrågasätta om den granskning som skett kan ge tillräcklig grund för ett godkännande av förslaget.

Jag vill i detta sammanhang peka på möjligheten att vinna ytterligare tid för granskning och tillåta laddning av aggregaten 7 till 10 utan att den mängd högaktivt avfall som produceras överstiger vad som skulle ha erhållits vid 30 års drift i de första 6 aggregaten, genom att utöka lagen till att gälla samtliga 10 aggregat och begränsa drifttillstånden så att högst denna avfallsmängd produceras.

En sådan lösning innebär knappast några nackdelar med hänsyn till risken för härdsmältningsolyckor, snarare blir risken totalt sett något lägre.

Den enda olägenheten skulle vara att ytterligare 4 aggregat blir radioaktiva vilket försvårar rivning eller ombyggnad till annat ändamål.

Fortsatt drift av de befintliga kärnkraftverken liksom eventuell drift av de aggregat som nu är under färdigställande måste förutsätta kraftfulla och effektiva åtgärder för att minska risken för och konsekvenserna av härdsmältningsolyckor och andra olyckor som kan leda till stora utsläpp av radioaktivitet. Kommissionens majoritet förefaller att vara av samma uppfattning (se avsnitt 5.6), men jag anser att detta borde ha framhållits med större skärpa[1].

---

1) Det är i detta avseende intressant att jämföra formuleringarna i avsnitt 5.6 beträffande kärnkraft och vattenkraft.

5 Särskilt yttrande av ledamoten Kågeson

De jämförelser som energikommissionen gör beträffande farligheten hos kol, olja och kärnkraft är ofta missvisande. Speciellt gäller detta det återkommande påståendet att olja är farligare än kärnkraft. Detta kan möjligen vara riktigt i rent kvantitativ mening inom den nuvarande svenska energibalansen, där oljan svarar för omkring 300 TWh medan kärnkraftens bidrag bara uppgår till ca 25 TWh (el).

Om emellertid kärnkraften (hypotetiskt) tillåts expandera till samma storlek som den nuvarande oljekonsumtionen, skulle jämförelsen komma att te sig helt annorlunda. För att producera 300 TWh kärnkraft och kärnvärme skulle antalet reaktorer behöva mångdubblas samt omfattande inhemsk uranbrytning och upparbetning behöva inledas. Risken för en stor reaktorolycka under de närmaste årtiondena skulle öka markant liksom risken för olyckor i övriga led av kärnbränslecykeln.

Att ersätta den omfattande oljeanvändningen med kärnkraft är emellertid inte realistiskt vare sig ekonomiskt eller från miljö- och säkerhetsmässiga utgångspunkter. Kärnkraftens betydelse i energiförsörjningen kommer aldrig att bli så stor att den ensam kan ersätta hela eller större delen av oljeberoendet. Det finns således ingen rimlig anledning att med ett minskat oljeberoende som motiv acceptera förekomsten av ytterligare ett miljöhot. Bättre då att genom en massiv och planmässig satsning på hushållning och inhemska förnyelsebara energikällor avveckla kärnkraften och på sikt också oljeberoendet. Hur detta på ett samhällsekonomiskt sätt kan genomföras har jag närmare beskrivit i min reservation och mitt särskilda yttrande till energikommissionens huvudbetänkande, "Energi" (SOU 1978:17).

Oljeanvändningen blir i mitt exempel lägre år 1990 än vad som blir fallet i energikommissionens alternativ C (13 reaktorer). I kommissionens alternativ A och B (avveckling av kärnkraften) är dock oljeberoendet något större än i C-alternativet. Skillnaden i emissioner (framför allt svavel) till atmosfären blir dock närmast försumbar genom utnyttjande av modern teknik (bl.a. avsvavling). Vad nedfallet över vårt land av svaveldioxid beträffar blir skillnaden ännu mindre (högst några få procent), eftersom merparten av svavlet kommer med vinden från våra grannländer. Det finns alltså ingen som helst anledning att vid sidan av oljans risker också acceptera hotet från kärnkraften. Folkmajoriteten i vårt land har inget att vinna på en fortsatt marsch in i kärnkraftsamhället.

6 Särskilt yttrande av ledamoten Landell

Energikommissionen fastslår helt korrekt att vi beslutsamt måste minska oljeberoendet genom bl.a. kraftfulla hushållsinsatser och utnyttjande av tillgängliga energialternativ. Men då är det enligt mitt förmenande också kommissionens uppgift att konkret peka på de alternativ som från miljö- och risksynpunkt förefaller lämpligast. Man kan inte nöja sig med allmänt tal om att olika individers värderingar skiljer sig ifråga om utvärderingen av de olika energialternativens risker. När kommissionen beslutar sig för något av en avvecklingsplan vad gäller oljan måste man komma med alternativ.

Det är begripligt att de som bestämt motsätter sig kärnkraft utmönstrar detta energialternativ till oljan. Jag har däremot uppfattningen att kärnkraften är att föredra framför oljan som redan idag bevisligen förstör vårt biologiska fundament. Jag menar att kärnkraftens bränslecykel till skillnad från oljans hantering och användning går att lokalisera till några få punkter i landskapet vilket är en klar fördel. Jag menar att de radioaktiva produkterna med lätthet går att spåra och att vi därmed hela tiden kan följa kärnkraftens miljörisker. Men så är inte förhållandet med de många icke radioaktiva gifternas smygande verkan. Både olje- och koleldning likaväl som industriernas utsläpp ger denna smygande giftverkan. Jag föredrar kärnkraften i valet mellan olja och kärnkraft. Det innebär inte att jag betraktar kärnkraften som en säker energikälla. Ingen villkorslag eller annan lagstiftning kan garantera kärnkraftens säkerhet. Villkorslagen kan bara i likhet med t.ex. lagen om hälso- och miljöfarliga varor stimulera producenterna att utveckla så säkra produktionsmetoder som möjligt. Jag tycker kommissionen har genomlyst kärnkraftens risker och jag anser att vi måste ta kärnkraftens risker för att skapa alternativ till oljan.

Vi kan bygga tolv kärnkraftaggregat färdiga i den takt de är tänkta att stå färdiga mot mitten av 1980-talet. Jag anser också att man övertygande visat att vi kan beställa ett trettonde kärnkraftaggregat om man med detta verkligen vill ersätta oljan inom exempelvis industrin. Jag tycker att åtminstone de som bestämde sig för behovet av tretton kärnkraftaggregat vid riksdagens energipolitiska beslut 1975 borde stå fast i sina önskemål nu då oljans miljörisker framstår som ännu mer påtagliga. Jag menar att man inte samtidigt kraftfullt kan besluta sig för avveckling av oljan och tala i allmänna ordalag om önskemål att inte ytterligare bygga ut kärnkraften.

I alternativen till olja bör man förutom kärnkraft i lika stor omfattning satsa på gas. I underlagsmaterialet till energikommissionens slutrapport framstår tydligt hur miljövänlig gasen är vid normal drift.

Naturgasen består till övervägande del av metan. Ett rörledningssystem för dessa mycket enkla molekyler framstår som ett distributionssätt vilket i sin elegans nästan kan mäta sig med ledningsnätet för el.

Man skulle med fördel kunna ha ett bassystem för energidistribution där kärnkraft och vattenkraft matar in el-ström medan metangasen distribueras från Europa eller LNG-terminaler vidare upp genom Sverige i ett rörledningssystem. Då metan (CH_4)-molekylerna vid förbränning lösgör sin energi bildas i princip endast koldioxid och vatten. Koldioxiden kan möjligen ge en långsiktig klimatpåverkan men metangas är ändå vida mer miljövänlig som energikälla än kol och olja. I praktiken behöver man endast räkna med utsläpp av mindre mängder nitrösa gaser förutom koldioxid och vatten då gasen används främst inom industrin.

Både inom industri- och bostadssektorn kan gasen bli en energikälla i samma storleksordning som vatten- resp. kärnkraft. Man har övertygande visat hur vattenkraften i princip bara kan byggas ut till 65 TWh om man vill värna om unika ekologiska värden. Både gas och kärnkraft skulle i ett basförsörjningssystem för energi kunna ligga i storleksordningen vardera 70 TWh.

Man skulle till det basförsörjningssystem jag skisserat kunna koppla många decentraliserade energikällor alltefter de olika landskapens speciella förutsättningar. Hit hör naturligtvis vindkraften. Man bör vidare satsa på sol för husuppvärmning då solen är den enda helt rena energikällan som även påverkar vindens och vattnets rörelser.

Min plädering för gas i ett centralt distributionsnät för energi grundar sig också till stor del på framtidens möjligheter att omvandla växtbiomassa till de enkla metangasmolekylerna som sedan kan distribueras elegant i rörledningssystemet. Även om det idag ter sig kostsamt kan man även göra metanol från metangasen. Vi ser alltså hur gasdistributionen är ett mycket flexibelt system och i detta avseende jämförbart med el-distributionen. Mitt särskilda yttrande till energikommissionens slutbetänkande är motiverat för att lyfta fram resonemang av den här typen. Jag menar - som tidigare nämnts - att man måste tala om vilka energialternativ som är värda en satsning som alternativ till oljan. Jag reserverar mig i hög grad mot energikommissionens vaga uttalanden om naturgasen. Redan huvudbetänkandets räkneexempel där naturgasen ingår med endast 11 TWh året 1990 kan ge den felaktiga uppfattningen att naturgasen inte är något bra energialternativ.

Tvärtom är naturgasen ovanligt lämplig som energikälla om man vill ta miljöhänsyn och satsa på framtidens möjligheter att utnyttja biomassa. Vad gäller katastrofrisker har kommissionen i slutbetänkandets bakgrundsmaterial visat att individrisken per år för att omkomma vid en tänkt LNG-terminal i Brofjorden är beräknad till 10^{-9}, dvs. 1 chans på tusen miljoner. Det är ungefär den risk man löper var som helst i Sveriges land att få ett störtande flygplan i huvudet. Jag tror vi bör ta denna individrisk för att satsa på naturgasens stora miljövänlighet mot det biologiska fundamentet. Jag tycker energikommissionen i sitt slutbetänkande är skyldig att starkt betona naturgasens stora miljövänlighet.

Med en ekologisk grundsyn som även inbegriper sparande och återvinning i protest mot slit- och slängmentaliteten måste vi satsa på de minst miljöfarliga energikällorna. Med en ekologisk grundsyn satsar jag på mångformighetens energiförsörjningssystem för att sprida riskerna. Ett sådant mångformigt försörjningssystem ger också bästa försörjningstrygghet. I detta mångformighetens system har jag skildrat en stomme av el- och gasdistribution. Jag vill till detta centrala lednings- och rörbundna system foga det rörsystem som är nödvändigt för fjärrvärme till våra tätorter. Jag vill då också betona nödvändigheten att sträva mot ett energiutnyttjande som tillvaratar hela energiinnehållet i våra olika energikällor. Ibland kan det ske genom att skapa fjärrvärme vid ett kraftvärmeverk. I framtiden kan man också tänka sig många andra system för att lagra och nyttiggöra sådant som idag är spillvärme. Hit hör bindning av energi till kristaller om man kan hitta lämpliga substanser som i måttliga mängder kan binda energin och transformera upp den till högre energinivåer.

Med en ekologisk grundsyn måste man naturligtvis ta hänsyn till energikvaliteter och se till att energiproducerande processer med mycket höga temperaturer verkligen används inom områden där dessa höga temperaturer behövs eller omsätts i högvärdig mekanisk energi. Från hushållssynpunkt måste det te sig egendomligt att i kraftverk klättra högt upp på temperaturskalan för att sedan åter klättra ned till den låga temperatur som behövs vid t.ex. husuppvärmning. Då jag förespråkar el för att ersätta den miljöfarliga oljan är jag därför samtidigt angelägen om att plädera för vattenburna element i kombination med el-patroner. Därigenom kan man föra in solen så fort det går för husuppvärmning. Direktverkande el ersätter visserligen olja men ger inte det vattenburna systemets flexibilitet och möjligheter att ta emot alternativa energikällor.

I det centrala försörjningssystem jag vill se uppbyggt ingår också en satsning på el-driven kollektivtrafik för att ersätta olja inom transportsektorn. Här är det berättigat med en el-insats då el omvandlas till högvärdig mekanisk energi i exempelvis snabbgående tåg som

förenar måttligt stora tätorter. Bilen bör begränsas till glesbygden och som kommissionen tidigare rekommenderat drivas med metanol.

Sammanfattningsvis har jag velat skissera ett alternativ till oljan ty det märkliga är att energikommissionen i samtliga sina räkneexempel i huvudbetänkandet behåller ohyggligt mycket olja trots att man säger sig med all kraft vilja bli av med den.

Det är den här ambivalensen som jag inte begriper. Möjligen är det också denna ambivalens som gör att energikommissionen även i sitt slutbetänkande med all kraft säger sig vilja bli av med oljan utan att definitivt binda sig till några alternativ.

Men har man sagt A så får man tyvärr också säga O ty energiförsörjningen sker i en verklighet där både yttre och inre miljö måste tryggas. De som skall bygga upp energisystemen måste få klara besked så att deras arbetsmiljö blir trygg. Vi måste till slut någon gång bestämma oss för något system som är minst miljöfarligt. Om det känns bättre kan vi alltid tala om en kärnkraftparantes i detta energisystem. Jag spår att kärnkraften består långt efter det vi smugit ut oljan. Jag tycker också att vi i Sverige med vår höga teknologiska kunskap och med vårt öppna samhälle skall ta ansvar för hela kärnbränslecykeln från brytning via kärnkraftverkens drift till upparbetning och slutförvaring. Inom kärnkraftens område tycks försigå ett partipolitiskt hymlande som alltjämt i energikommissionens slutbetänkande speglas i vaga formuleringar.

Man vill med all kraft konkret bli av med oljan. Men när det kommer till alternativ vill man inget konkret säga. Inte ens de som var övertygade om tretton kärnkraftaggregat 1975 är nu så säkra. Man anlägger plötsligt en distanserad intellektuell hållning och pratar föraktfullt om aggregatexercis. De som bygger kärnkraftaggregaten bör dock få veta hur den framtida byggnationen skall se ut annars blir energikommissionen en av de instanser som verksamt bidrar till att göra kärnkraften ännu mer otrygg genom att skapa psykisk press på teknikerna.

Jag kräver handlingskraft och en positiv satsning på teknologi med målsättningen att på bästa sätt skicka landskapet, växterna och djuren i landskapet vidare till kommande generationer. Människan är med bland djuren. Vi behöver också en positiv satsning på teknologi för att ge ett meningsfullt socialt liv utan nedbrytande arbetslöshet och brist på gemenskap. Vi måste tillsammans med en ekologisk grundsyn börja arbeta på det mångformighetens energisystem som till slut kan omvandlas till en produktion enbart baserad på solen som den enda rena energikällan.

BILAGA 1 FÖRTECKNING ÖVER RAPPORTER

Följande rapporter har utarbetats på initiativ av energikommissionens expertgrupp rörande säkerhet och miljö.

Titel		Utarbetad av
Ds I 1978:1	Swedish Reaktor Safety Study, Barsebäck Risk Assessment,	MHB Technical Associates
	A Comparison of Swedish and American Design Criteria and licensing Review Procedures for Nuclear Power Plants	Robert D Pollard
Ds I 1978:3	Säkerhetsstudie Forsmark 3	AB Asea-Atom
Ds I 1978:5	A study of some of the Consequences of Hypothetical Reactor Accidents at Barsebäck	Jan Beyea
Ds I 1978:14	Hälso- och miljöeffekter. Energikommissionens alternativ	Expertgruppen för säkerhet och miljö
Ds I 1978:15	Riskvärdering:	
- Säkerhetsbedömning och riskpsykologi		Arbetsgrupp med docent Torbjörn Thedéen som projektledare
- Energipolitiske beslutninger		Paul Hofseth
- Några kommentarer omkring beslut under osäkerhet		Dag Prawitz
- Kjernekraft? Noen politiske og beslutningsteoretiske momenter		Jon Elster
- Hur säkert kan man veta något om olycksriskerna i komplicerade tekniska system?		Ingvar Bergqvist, Bengt Hansson, Holger Rootzén, Tord Torisson
Ds I 1978:17	Disposal of High Active Nuclear Fuel Waste:	Jan Rydberg, John Winchester
- A critical Rewiev of the Nuclear Fuel Safety (KBS) project on final disposal of vitrified high active nuclear fuel waste		
Ds I 1978:19	Förvaring av högaktivt kärnbränsleavfall:	Jan Rydberg, John Winchester (översättning)
- En kritisk översikt av Kärnbränslesäkerhets (KBS) projektet angående slutlig förvaring av förglasat högaktivt kärnbränsleavfall		

Titel	Utarbetad av
Ds I 1978:20 Stora olyckor - Olja och Gas. Riskstudier och ekologiska effekter:	
- Ekologiska effekter av oljeföroreningar i den marina miljön - främst Östersjön	Olle Lindén
- Risk Assessment Study for the Harbor of Gothenburg	Battelle-Institut e.V. Frankfurt
- Risk Assessment Study for an Assumed LNG Terminal in the Lysekil Area	Battelle-Institut e.V. Frankfurt
Ds I 1978:21 Kol och miljö:	
- Klimatpåverkan av energiproduktion	Anders Björkström, Bert Bolin, Henning Rodhe
- Bortseparation av mineralpartiklar, svavel och kväve ur kol före förbränning	Institutet för vatten- och luftvårdsforskning
- Kvicksilver i kol	Offentlig hearing i Nya riksdagshuset 1978-01-18
- PM angående spridning och deposition av kvicksilver	Ulf Högström
- Tre scenarier för framtida kvicksilverhalter i fisk	Arne Jernelöv
- Lufttransport och reemission av kvicksilver	Birgitta Eriksson, Arne Jernelöv
- Utsläpp av kväveoxider och polyaromatiska kolväten från fossileldade anläggningar	AB Svenska Maskinverken
- Partikelavskiljning efter kolpulvereldade pannor	AB Svenska Fläktfabriken
- Deponering av avfall från rökgasavsvavling	AB Svenska Fläktfabriken
- Hydrologiska synpunkter på deponering av restprodukter från koleldade kraftverk	Sveriges geologiska undersökning
- Miljöproblem vid framtida kolteknologi	Ångpanneföreningen
Ds I 1978:22 Biomassa, hälsa och miljö:	
- Risker i samband med energiproduktion ur biomassa. Förbränning	Hans Egneus, Gunnar Björndahl, Hans Blanck, Birgitta Jerkbrandt, Bo Skärgård

Titel	Utarbetad av
- Risker i samband med energiproduktion ur biomassa. Pyrolys	Hans Egneus, Gunnar Björndahl, Bo Skärgård
- Risker i samband med energiproduktion ur biomassa. Metanjäsning	Hans Egneus, Birgitta Jerkbrandt
- Vattenvårds- och vattenresursfrågor i samband med produktion av energiskog	Sven Berglund
- Tungmetallproblematiken vid energiproduktion i form av minirotationsskogsbruk	Arne Andersson
Ds I 1978:23 Spridning och hälsoeffekter av luftföroreningar:	
- Cancerframkallande ämnen i oxidationsbränslecykeln	Göran Löfroth
- Om förekomst av N-nitrosoföreningar. Särskilt med avseende på förekomst i luft och bildning ur komponenter i luft	Göran Löfroth
- Emission av polyaromatiska kolväten	Institutet för vatten- och luftvårdsforskning
- Effekter på terrestra ekosystem p.g.a. metallnedfall	Germund Tyler
- Beräkningar av partikeldeposition runt ett koleldat kraftverk	Sverige meteorologiska och hydrologiska institut
- Effekter av metallnedfall på terrester miljö	Institutet för vatten- och luftvårdsforskning
- Regionala och lokala effekter av luftburet vanadin och nickel på haltnivå i sjövatten och sediment	Hans Borg, Kjell Johansson
- Gradientstudier i limnisk miljö av metallutsläpp från oljekraftverk	Institutet för vatten- och luftvårdsforskning
- Atmosfäriskt tungmetallnedfall i närheten av fossileldade kraftverk, med särskild hänsyn till växternas upptagning av tungmetallet direkt från luften - en litteraturstudie	Olle Pettersson
- Vanadin- och nickelundersökningar vid Karlshamnsverket	Sydkraft AB
- Kollektivt expositionstillskott av benspyren	Ch Gyllander
- Orienterande undersökning av ozonemissioner från ställverk och överföring av högspänning	Institutet för vatten- och luftvårdsforskning

Titel	Utarbetad av
- Hälsoeffekter av energiproduktion i Sverige	Statens Naturvårdsverk, Omgivningshygieniska avdelningen
Ds I 1978:24 Radioaktiva ämnen - hälsoeffekter och ekologiska effekter:	
- Dos- respons samband för biologiska effekter av joniserande strålning	Lars Ehrenberg
- Plutonium och andra transurana element. Radioekologi - radiotoxikologi	Bertil Persson, Elis Holm
Ds I 1978:25 Kärnenergi, geotermisk energi och miljö:	
- Uranbrytningens miljöpåverkan	Olov Holmstrand
- Arbetsmiljön i kärnbränslecykelns industrier	Arne Stråby
- Hälso- och miljörisker vid vattenlagring av utbrända kärnbränslestavar	Sten Lindeberg
- Miljöproblem från framtida reaktorteknologi	Bengt Lydell
- Effekter av värmeutsläpp	Ulf Grimås
- Hälso- och miljörisker av geotermisk energiutvinning	Hagconsult AB
Ds I 1978:26 Risken för och effekter av sabotage- och terrorverksamhet i samband med kraftproduktion	Björn O Gillberg
Ds I 1978:27 Miljöeffekter och risker vid utnyttjande av energi	Expertgruppen för säkerhet och miljö
Remissammanställning över Aka-utredningen	Ambjörn Lindskog, Lars Ljung
Risker för och konsekvenser av brott på vattenkraftdammar	Statens vattenfallsverk
Miljöeffekter genom förbränning av fossila bränslen. Rapport från studieresa USA 1977	Thomas Lewander
Torvbrytningens miljöeffekter	K-Konsult

BILAGA 2 KORT SAMMANFATTNING AV DE SVENSKA REMISSVAREN BETRÄFFANDE PRÖVNING ENLIGT VILLKORSLAGEN AV RINGHALS 3

1. Inledning

Inför remissbehandlingen av statens vattenfallsverks ansökan om prövning enligt villkorslagen för Ringhals 3 har 24 svenska instanser anmodats eller beretts tillfälle avge yttrande. Ytterligare en instans har på eget initiativ avgivit yttrande. F.n. pågår en internationell remissbehandling av vattenfallsverkets ansökan.

I det följande sammanfattas de svenska remissinstansernas synpunkter, dels vad avser främst slutförvarets säkerhet, dels vad avser de förslag till förbättringar på olika punkter som ingår i remissinstansernas yttranden.

2. Sammanfattning av remissvaren

Då det gäller hantering och förvaring har försvarets forskningsanstalt (FOA) inte till alla delar kunnat bedöma fullständigheten i KBS-rapporternas probleminventering. FOA har dock inte kunnat påvisa väsentliga brister i detta avseende. I övrigt ger enligt FOA arbetet i stort ett intryck av att ha gjorts med vedertagen vetenskaplig metodik och att i flera avseenden bygga på mycket försiktiga antaganden. FOA har följaktligen vid sin teknisk-vetenskapliga granskning, främst från strålskyddssynpunkt inte noterat förhållanden som ger anledning avstyrka ansökan i vad avser metoderna för hantering och förvaring av det högaktiva avfallet.

Beträffande slutligen skyddet mot krigshandlingar finner FOA i samråd med försvarsstaben att de beskrivna lösningarna uppfyller höga krav och att ansökan kan godtas i detta avseende.

Statens geotekniska institut har granskat ansökan med utgångspunkt från institutets kompetensområden geoteknik och grundläggningsteknik.

Institutet pekar särskilt på den osäkerhet i bedömningsunderlaget som utgörs av antaganden rörande grundvattenspridningen. Institutet bedömer det som möjligt att genom tätningsåtgärder åstadkomma sådana förhållanden, att effekten av strömningsförlopp och utspädning blir den i KBS rapporten angivna.

Uppsala universitet anser att det presenterade materialet ger en god bas för diskussion av möjligheterna att på ett säkert sätt omhänderta använt kärnbränsle och vid uppbearbetning frigjort radioaktivt avfall. Utredningen visar, att dagens teknik erbjuder tillfredsställande möjligheter att hantera och förvara sådant material. Universitet anser att betryggande principiella lösningar finns för isolering och individuell behandling av vissa kritiska radionuklider (eller grupper av radionuklider) före lagring eller slutlig deposition. Sådan metodik måste dock utvecklas med hänsyn till ekonomiska krav.

De tekniska lösningar som diskuterats i betänkandet har inte gjorts till föremål för detaljerad ekonomisk analys. Det är angeläget att en sådan analys genomförs så att resultaten kan sättas i relation till motsvarande uppskattade kostnader för andra slag av energiutvinningar. Av särskild vikt synes därvid vara, att man skapar förutsättningar för en relevant jämförelse med kostnaderna för hälso- och miljöeffekter vid användning av fossila bränslen och de tekniska åtgärder som krävs för att bringa dessa i nivå med dem som kärnindustrins avfallsprodukter anses åstadkomma.

Det är väsentligt att Sverige genom egen forsknings- och utvecklingsverksamhet kan bidra till den internationella utvecklingen av en säker avfallsteknologi.

Universitet anser vidare, att man förutsättningslöst bör diskutera möjligheter till slutlig deposition i det svenska urberget med hänsyn till ett önskvärt samarbete över gränserna. Då naturliga förutsättningar finns för långtidsförvaring i Skandinavien bör dessa tas till vara, oberoende av från vilket land avfallet härstammar. Omhändertagande av avfall från fissionsreaktorer är ett problem, som berör alla länder, antingen de själva utvinner kärnenergi eller inte.

Tidsplanen för slutlig deposition bör emellertid påverkas av ekonomiska överväganden. Det torde vara ekonomiskt och tekniskt gynnsamt att "skynda långsamt". Härigenom uppskjutes kostnaderna för i anläggningarna nedlagt kapital, samtidigt som behandlingsteknologin ytterligare utvecklas.

Fördelarna med en senarelagd byggnad av slutförvaret måste vägas mot kostnaderna för ett ytterligare utbyggt mellanlager.

Universitetet anser slutligen att KBS-utredningen dokumenterar att använt kärnbränsle och förglasat högaktivt avfall kan hanteras och förvaras med betryggande säkerhetsmarginal.

Lunds universitet anför att den detaljerade granskning som utförts av universitetet på enskilda punkter visat på brister såväl rent sakligt som beträffande metodiken vid bedömningen av den föreslagna lösningens tillförlitlighet. Dessa påpekanden påverkar dock inte väsentligt helhetsbilden.

Universitetet drar, utan att ifrågasätta det föreslagna systemets möjligheter att uppfylla villkorslagens krav, slutsatsen av den kritik som framförts gällande detaljer i slutförvaringen att fortsatt forskning och utveckling på dessa punkter är motiverad. Det slutgiltiga geografiska valet av förvaringsplats fordrar också ytterligare undersökningar.

Universitetet har inget att invända mot att vattenfallsverket erhåller det begärda tillståndet att tillföra kärnbränsle till Ringhals 3. Rektorsämbetet vill dock framhålla att den angivna metoden för slutförvaring av radioaktivt avfall bör göras till föremål för fortsatt forskning och utveckling, så att inte bara en godtagbar lösning väljes, utan också den bästa och säkraste.

Fakultetsnämnden för matematisk-naturvetenskapliga fakulteten vid Göteborgs universitet anser att KBS tekniska utredning har brister som måste blir föremål för vidare bearbetning. En majoritet menar dessutom att avtalet om upparbetning inrymmer flera oklara punkter. Underlaget för ett beslut om laddning av Ringhals 3 är således bristfälligt. Även om fakultetsnämnden inte kunnat göra någon samlad riskbedömning av avfallshanteringen kan den inte tillstyrka att laddning av Ringhals 3 sker under hänvisning till att avfallsproblemen vore helt under kontroll. Skulle laddning ändå äga rum bör det klart utsägas att avfallsfrågorna inte därmed kan anses lösta.

Medicinska och matematisk-naturvetenskapliga fakulteterna vid Umeå universitet anser att utredningen rörande hanteringskedjan för det högaktiva avfallet i sina huvuddrag är tillfredsställande och anser att bedömningarna rörande de radiologiska riskerna är rimliga. Det är väsentligt att även sociala och politiska aspekter vägs in i en helhetsbedömning av kärnkraftplanerna.

Forum för tvärvetenskap vid Umeå universitet finner utredningen rörande hanteringskedjan för det högaktiva avfallet i tekniskt avseende tillfredsställande och vill för övrigt instämma i utredningens uttalande att sträva att uppnå flexibilitet och undvika låsning. Forum för tvärvetenskap finner det emellertid ytterst tvivelaktivt om utredningen på ett godtagbart sätt visat att villkorslagens krav på en helt säker slutlig förvaring av utbrän kärnbränsle i dag går att uppfylla. De finner de teknis villkoren alltför begränsade för att man inom en sådan ram skall finna hela svaret på frågan om säkerheten i de framtida avfallshanteringen.

Allmänt framhåller tekniska högskolan i Stockholm att de radioaktiva ämnenas giftighet bygger på deras radioaktivitet. När denna klingat av är ämnena att jämföra med de i naturen normalt förekommande. Det skall jämföras med t. ex. tungmetallerna, vilkas giftighet och skadliga inverkan på liv börjar alltmer observeras. Dessa uppvisar ingen motsvarighet till avklingning utan förorenar för all framtid. De sprids genom diverse mänsklig verksamhet liksom andra gifter och bekämpningsmedel i naturen över mycket stora ytor. Det synes rimligt att söka en allmän säkerhetspolitik, inom vars ram kärnkraftsavfall bara är en form av de många förekommande föroreningarna. Om man föreställer sig en skala av risker, vars ena ände är risken 100 % och den andra änden motsvarar risken 0 %, dvs. "helt säker" i matematisk mening, något som är ouppnåeligt för all mänsklig verksamhet, torde riskerna med slutdeponerat radioaktivt avfall enligt KBS förslaget vara små, om de kapslingsproblem, som påpekas, löses på ett tillfredsställande sätt.

Högskolan betonar att vidare undersökningar och forskning är av stor betydelse inom av KBS utredningen berörda fält och att användning av avancerad teknik kräver avancerad forskning och utvecklingsverksamhet.

Chalmers tekniska högskola påpekar att säkerhetsanalysen i några fall varit alltför optimistisk (t.ex. i fråga om upplösningen av glaset), men att den i allmänhet har varit överdrivet försiktig (t.ex. i fråga om kapselns livslängd och kvarhållning av de radioaktiva ämnena i marken). En del frågetecken kvarstår om detaljerna i den geologiska redovisningen, men det har också påpekats att ur förvaringssynpunkt ännu bättre bergarter finns tillgängliga än vad KBS undersökt. Sammanfattningsvis är det högskolans uppfattning att det klart har visats möjligt att förvara avfallet på ett "helt säkert" sätt i den betydelse som detta begrepp vanligen har. Högskolan anser därför, att villkorslagens krav är uppfyllda och att det i vad avser den slutliga förvaringen av det högaktiva avfallet inte finns något hinder för laddning och drift av aggregat 3 i Ringhals.

Naturvårdsverket har bedömt ansökan med utgångspunkt från huruvida det bedöms möjligt att med i dag tillämpad teknik ordna en slutlig förvaring som tillgodoser de krav som - enligt nämnda lagar - ställs på miljöfarlig verksamhet vad avser landskapspåverkan, buller samt utsläpp av icke-radioaktivt avfall, luft- och vattenföroreningar. Naturvårdsverket finner därvid att ansökan kan tillstyrkas.

Statens strålskyddsinstitut framhåller att det slutliga avgörandet om huruvida villkorslagens krav är uppfyllda kräver ställningstagande beträffande ett antal frågor där institutet helt saknar expertis. I sådana frågor har institutet utgått från de antaganden som beskrivits i KBS rapporten. Detta gäller framför allt den materialtekniska bedömningen av inneslutningens hållbarhet samt de geologiska förutsättningarna. Institutet har förutsatt att dessa antaganden prövas av andra remissinstanser, framför allt statens kärnkraftinspektion. I den mån en sådan prövning ändrar förutsättningarna kan även institutets slutsatser komma att påverkas. Institutet har således begränsat sin bedömning till de rent strålskyddsmässiga aspekterna. Med dessa reservationer finner institutet att villkorslagens krav beträffande den tekniska möjligheten till helt säker slutförvaring av det högaktiva avfallet från Ringhals 3 är uppfyllt.

Arbetarskyddsstyrelsen anser att säker slutlig förvaring av det vid upparbetningen erhållna högaktiva avfallet kan ske på ett från arbetsmiljösynpunkt godtagbart sätt. Såväl när det gäller ett realiserande av dessa planer på visst sätt och viss plats som utformningen av de praktiska detaljer är det angeläget att en samverkan mellan anläggningsinnehavare, berörda arbetstagarorganisationer och tillsynsmyndigheter etableras i ett tidigt skede.

Sveriges geologiska undersökning (SGU) delar KBS uppfattning att de undersökta områdena uppvisar de grundläggande förutsättningar som krävs för förläggning av ett slutförvar. SGU instämmer också i att gnejsområdet i Blekinge förefaller att vara det lämpligaste av de hittills undersökta områdena.

Dessa områden ger goda exempel på sydöstsvenska berggrundsförhållanden, men uppvisar inga exceptionellt gynnsamma förhållanden. Flera likvärdiga eller bättre exempel borde lätt kunna uppletas i resp. regioner.

Framtida berggrundsrörelser kommer främst att ske längs redan befintliga sprickor och svaghetszoner. Eftersom dessa kan undvikas vid förvarets lokalisering utgör framtida berggrundsrörelser inget hot mot förvarets säkerhet.

Risken för en sådan omläggning av jordskorpans deformationsmönster att omfattande sprickny bildning skulle inträffa inom de närmaste årmiljonerna är praktiskt försumbar.

Nya nedisningar får så ytliga effekter att de är betydelselösa för slutförvarets säkerhet.

Ur anläggningsteknisk synpunkt torde inga större problem vara att vänta, eftersom man redan av andra skäl har stränga krav på god bergkvalitet.

SGU anser att grundvattenförhållandena i svensk berggrund är sådana att områden med liten grundvattenomsättning och små flöden förekommer, vilket illustreras i KBS rapporten med resultat från direkt fältmätningar och teoretiska studier. Det måste understrykas att strömningar i urberg sker i sprickor och att slutförvar kan förläggas så att minsta möjliga direktkontakt med dessa sprickor erhålls, varvid såväl utlaknings- som spridningsförhållandena avsevärt reduceras i jämförelse med av KBS angivna värden.

SGU finner att angivet värde på transporttid från slutförvar till recipient är väl pessimistiskt. Såväl teoretiska studier som åldersbestämningar visar att avsevärt längre tider kan påräknas vid en väl avvägd lokalisering av slutförvaret. Angivna värden på berggrundens permeabilitet får anses representativa för undersökta områden, men fältbestämning av bergets porositet saknas.

Statens kärnkraftinspektion konstaterar att förslaget i den form det lagts fram av KBS i huvudsak bygger på känd teknik och att det är möjligt att förverkliga. Om de olika anläggningarna kommer att uppföras krävs emellertid ytterligare insatser i form av kompletterande utredningar och undersökningar.

Ett slutförvar, som uppfyller de krav KBS anger, kommer enligt inspektionens uppfattning inte att ge upphov till större utsläpp av radioaktivitet, än vad KBS projektet redovisar i sina slutrapporter.

Ett antal barriärer mot utsläpp av radioaktivitet finns i det framlagda projektet, av vilka några inte tillgodoräknas i projektets säkerhetsanalys. Det är inspektionens uppfattning att barriärerna ger en betryggande säkerhet.

I likhet med KBS bedömer inspektionen att utsläpp av radioaktivitet från förvaret under den första tusenårsperioden blir utomordentligt låga. Inspektionen vill understryka att detta är särskilt viktigt mot bakgrund av att under denna tid vissa betydelsefulla radiotoxiska ämnen med ca 30 års halveringstid hinner minska i mängd till ofarlig nivå.

I ett längre tidsperspektiv anser inspektionen liksom dess konsulter, att redan KBS antaganden om säkerheten hos de valda barriärerna är mycket försiktiga och att mera realistiska antaganden skulle ge betydligt lägre utsläppsvärden än de redovisade.

Med utgångspunkt från de synpunkter statens kärnkraftinspektion har att beakta anser inspektionen att KBS-projektets förslag till hantering av använt kärnbränsle och slutförvaring av högaktivt avfall uppfyller de krav som villkorslagen ställer.

Kärnkraftinspektionens konsult Scandpower framhåller att efter ingående studier av det grundmaterial, som KBS tekniska rapporter innehåller, och med ledning av allmän erfarenhet från svenska gruvor, synes det sannolikt att det i den svenska berggrunden går att finna områden och geologiska formationer, där de av KBS uppställda kraven går att uppfylla. Det är dock knappast möjligt att med endast tre kärnborrhål inom ett område påvisa att dessa krav kan innehållas inom den erforderliga arean av 1 km^2. Detta skulle kanske vara möjligt om alla tre borrhålen entydigt visat en sprickfri berggrund. I ett undersökt område har borrats ett sådant hål. I två andra undersökta områden visar alla borrhålen kraftiga sprick- och kross-zoner. Här måste ytterligare borrningar företagas om man vill visa hur alla dessa svaghetszoner skär in på 500 m-nivån (försvarets nivå) och vilka sprickfria ytor som därefter finns tillgängliga för en säker förvaring.

Områden nära olika malmfyndigheter kan alltid bli föremål för malmprospektering och är från denna synpunkt olämpliga för slutförvar.

Styrelsen för teknisk utveckling (STU) anser att säkerheten vid hanteringen, enligt förslaget i KBS rapporten, av använt kärnbränsle och upparbetat förglasat avfall fram t. o. m. inkapslingen inför slutförvaring förefaller kunna bli tillfredsställande. Vad gäller slutförvaringen av de inkapslade avfallskropparna och eventuell spridning av radioaktiva ämnen från slutförvaret anser STU att den i KBS rapporten presenterade säkerhetsanalysen inte är lika väl grundad.

STU vill i detta sammanhang framhålla att det naturligtvis inte går att garantera att någon metod för förvaring av det radioaktiva avfallet är helt säker. Vad man kan göra är att visa att sannolikheten för oplanerade händelser är mycket liten. För att göra detta krävs emellertid en mycket god kunskap om egenskaper hos aktuella material m. m. STU menar att, utgående från framställningen i KBS rapporten, flera av de tidigare nämnda faktorerna som direkt ingår i analysen av omgivningspåverkan av radioaktiva utsläpp från slutförvaret förefaller vara mindre väl kända.

För att det fortsatta arbetet mot en lösning av kärnbränslecykelns slutsteg skall leda till önskvärt resultat, dvs. visa att förhandevarande förslag är tillfredsställande eller föreslå alternativa tillfredsställande lösningar, anser STU att en mycket fast planering och styrning av verksamheten är nödvändig.

Programrådet för radioaktivt avfall finner ingen anledning att ifrågasätta möjligheten att genomföra transporter, hantering och mellanlagring av avfallet på ett helt säkert sätt. Dessa steg i hanteringsgången kan jämföras med motsvarande steg i handhavandet av använt kärnbränsle såsom detta utförs i dag.

Programrådet bedömer att ett avfallsförvar som utförs på det sätt som föreslås i KBS rapporten kommer att vara helt säkert. Bergpartier av den nödvändiga tätheten finns inom den s. k. blekingska kustgnejsen och de är uppenbarligen tillräckligt stora för slutförvarets behov. Även i andra områden i sydöstra Sverige och exempelvis i norra Uppland kommer sannolikt bergpartier av nödvändig kvalitet och utsträckning att kunna identifieras.

Programrådet finner det angeläget att man fortsätter ingående undersökningar av de hydrogeologiska och geokemiska förhållandena i den svenska berggrunden för att ytterligare förbättra underlaget för bedömningen av dessa faktorers bidrag till slutförvaringens totala säkerhet.

Programrådet grundar sin bedömning av säkerheten i första hand på den påvisade förekomsten av bergpartier av mycket låg vattengenomsläpplighet. Tack vare denna kommer kapsel och avfallsglas att bestå under så lång tid att förvaringen är helt säker även med ogynnsamma antagande om transporten av avfallsnuklider från förvaret till ytvattenrecipienter.

Enligt programrådets bedömning får därför vattenfallsverket anses ha uppfyllt villkorslagens krav att visa hur och var en helt säker slutlig förvaring av det vid upparbetningen erhållna högaktiva avfallet kan ske.

AB Atomenergi instämmer i den i rapporten gjorda tolkningen av begreppet "helt säker" enligt villkorslagen. Med denna förutsättning anser bolaget att den i rapporten redovisade principen för slutförvaring av det högaktiva avfallet ger en ur strålskyddssynpunkt fullt betryggande säkerhet. Denna slutsats rubbas inte av det förhållandet att det finns betydande osäkerheter i enskilda led i kausalitetskedjan fram till eventuell påverkan på ekosystemet och personexponering. En mer klarläggande framställning i rapporten av dessa frågor hade emellertid varit önskvärd.

Bolaget bedömer att det av KBS föreslagna tillvägagångssättet för omhändertagande av det högaktiva avfallet innehåller ett betydande mått av "översäkerhet". Detta är med hänsyn till nuvarande kunskapsläge motiverat. Fortsatt FoU avseende de olika miljöerna, barriärerna och spridningsförloppen i delstegen i hanteringsschemat är angeläget. Detta bör redan inom något decennium leda till underlag för enklare principer och ekonomiskt fördelaktigare sätt för avfallsfrågans lösning, utan eftersättande av de höga och på kärnkraftområdet unika kraven på säkerhet.

Ingenjörsvetenskapsakademien delar den uppfattning som kommer till uttryck i villkorslagen, nämligen att mycket höga krav på säkerhet skall kunna ställas på hela kärnbränslecykeln. Detta gäller således bl. a. slutförvaring av högaktivt avfall vilken akademien med utgångspunkt från KBS utredningen bedömer kunna ske med den mycket höga grad av säkerhet som bör krävas.

Mot denna bakgrund anser akademien att inga hinder föreligger för att tillföra nya reaktoranläggningar kärnbränsle.

Korrosionsinstitutet uttalar sig om korrosionshärdigheten hos den kapsel som avses omge det förglasade avfallet. Institutet bedömer den blyinfordrade titankapseln ha en livslängd av åtminstone tusentals år och sannolikt betydligt mer. Efter fördjupat studium förutser således institutet nu en större livslängd för kapseln än som angavs i institutets lägesrapport. Denna bedömning väntas få stöd av en majoritet inom institutets referensgrupp.

Jordens Vänner och Miljöförbundet anger att i KBS projektets arbetsgrupp ingår personer med ledande befattningar inom de två svenska reglerande myndigheterna statens kärnkraftinspektion och statens strålskyddsinstitut vilka objektivt skall granska projektets trovärdighet och senare behandla eventuella tillståndsfrågor.

Jordens Vänner och Miljöförbundet anser att borrningsundersökningarna är få till antalet och att borrningarna avslutats vid den nivå där slutförvaret planeras ligga. Det är inte acceptabelt att placera ett slutförvar i gränszonen till okända eller föga kända bergartszoner.

Sammanfattningsvis menar Miljöförbundet och Jordens Vänner att den aktuella rapporten från projekt Kärnbränslesäkerhet inte uppfyller villkorslagens krav på en säker hantering av det radioaktiva avfallet.

3. Remissinstansernas förslag till tekniska förändringar m.m. beträffande slutförvaring av högaktivt avfall

Många av de instanser som yttrat sig över statens vattenfallsverks ansökan om prövning enligt villkorslagen för Ringhals 3 har i sina yttranden lämnat förslag till förändringar av det förslag till slutgiltig förvaring av högaktivt avfall som ges i KBS-rapporten. De föreslagna förändringarna har främst gällt inkapslingen av det högaktiva avfallet och de geologiska förutsättningarna för slutförvaret.

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut framhåller angående transporten av använt kärnbränsle och aktivt avfall till sjöss att det för valda transportvägar bör upprättas beredskapsplaner som bl.a. föreskriver prognoser rörande spridning i vatten och luft av radioaktiva material.

Uppsala universitet betonar vad det gäller de geologiska förutsättningarna för ett slutförvar att av utomordentligt stor betydelse i detta sammanhang är den permeabilitetsprovning av bergmassan runt vart och ett av de vertikala deponeringshålen som beskrivs i KBS-rapporten. Om denna provning utföres med stor omsorg och endast maximalt "täta" deponeringshål utnyttjas bör kapsellivslängden (i utredningen uppskattad till minst 1 000 år) kunna förlängas med en eller flera tio-potenser och glasets utlakningshastighet minskas i samma mån.

Uppsala universitet föreslår också vissa förändringar av valet av kapslingsmaterial för det högaktiva avfallet. Universitetet framhåller att KBS-utredningen ger intryck av att deponeringskapslarnas ytterhöljen tänkes bestå av rent (olegerat) titan. Denna metall visar i olegerat tillstånd god korrosionsresistens men kan dock i kloridhaltiga miljöer utsättas för gropfrätning och spaltkorrosion, som begränsar titanhöljets livslängd.

Universitetet framhåller att ytterhöljets livslängd kan ökas avsevärt om det tillverkas av en lämplig titanlegering i stället för av olegerat titan.

Även styrelsen för teknisk utveckling framhåller att titanlegeringar är att föredra framför rent titan.

Tekniska högskolan i Stockholm påpekar att skulle det trots allt visa sig svårt att framställa en tillförlitlig bly-titan-inkapsling, kunde som annat alternativ beaktas möjligheten att inkapsla glaset i något av de material, som antytts i utredningens allmänna del, och som avser direktdeponering av använt bränsle. Här diskuteras bl.a. koppar. Om lämpligt vald utformning av kopparhölje uppvisar en sannolik beständighet mot korrosion, som sträcker sig över några tusen år, skulle problemet med glasets inkapsling vara löst.

Även Ingenjörsvetenskapsakademien föreslår koppar som ett alternativ till bly-titan-kapsling av det högaktiva avfallet.

Chalmers tekniska högskola framhåller att i samband med geologiska undersökningar av s. k. ultramafiska bergarter i den skandinaviska fjällkedjan från Bergen, Norge, i söder till Stora Umevatten nordväst om Tärnaby, i norr, har ca 250 ultramafiska massiv ingående studerats från olika synvinklar. Högskolan anser att dessa bergmassiv bör vara lämpliga för lagring av utbränt kärnavfall på grund av deras mekaniska egenskaper och mineralogiska sammansättning.

Den av statens kärnkraftinspektion anlitade konsulten Scandpower anser att den föreslagna utformningen av kylsystemet för det förglasade avfallet kan behöva ändras om mellanlagret byggs. Scandpower bedömer att omkapsling av kontaminerade avfallscylindrar inte inenbär några principiella probelm. KBS har emellertid inte beskrivit hur täthetskontrollen av de omkapslade cylindrarna skall ske eller hur man skall behandla omkapslade cylindrar som befinns otäta. Inkapsling av avfallscylindrarna i en bly-titan-kapsel genom blygjutning kan ge problem med inhomogeniteter. Förvärmning av kapseln eller användning av en blylegering med lägre smältpunkt än bly kan underlätta en homogen gjutning. Kontroll av homogeniteter efter gjutningen är troligen inte erforderlig. Däremot bör metoder för svetsning av titanlock och kontroll av svetsar utprovas och specificeras för slutligt val av svetsmetod och kontrollåtgärder.

Allmänna Ingenjörsbyrån som studerat KBS projektet som konsult åt kärnkraftinspektionen anser att undersökningar i mera basiska bergarter är av intresse. Allmänna Ingenjörsbyrån anser det sannolikt att det i den svenska berggrunden går att finna områden och geologiska formationer, där de av KBS projektet uppställd a kraven går att uppfylla.

I samband med beskrivningen av hanteringen av transportbehållare vid kärnkraftverk framgår att ett antal av dessa kärnkraftverk av äldre årgång ej är utrustade för hantering av transportbehållare med beteckning NTL12. Av detta skäl planeras tillverkning av en nedbantad version med beteckningen NTL17.

Styrelsen för teknisk utveckling anser att det bör undersökas om inte en annan eventuellt billigare lösning vore att förändra hanteringssättet vid dessa äldre kärnkraftverk i stället för att utveckla en ny version av transportbehållare. Ett enhetligt utförande av transportbehållarna skulle troligen ha säkerhetsmässiga fördelar framför ett system med flera typer.

Vid ankomst till centrallagret skall lossning av transportbehållaren ske med travers. Även om behållaren är dimensionerad för fall från 9 m höjd innebär vertikalhantering alltid en risk som skulle kunna undvikas om systemen utformades så att horisontella förflyttningar användes i större utsträckning än vad som anges i förslaget. Detta fordrar emellertid införande av ny hanteringsteknik. Ett sätt att erhålla horisontell förflyttning, som enligt styrelsens mening sannolikt skulle kunna användas i dessa sammanhang, är att använda luftkuddeteknik.

I KBS-rapporten föreslås all hantering vid ankomst till mellanlagret ske med travers. Som tidigare nämnts borde även här horisontell förflyttning minska riskerna för skador på behållarna i samband med hanteringen.

Vad beträffar val av kapslingsmaterial finner styrelsen det värt att notera att i förslaget till direktdeponering av använt kärnbränsle föreslås att kapslingsmaterialet utgörs av koppar eller aluminiumoxid. Inom KBS-projektet anses dessa material kunna ge längre livslängd i den aktuella miljön än det för det förglasade avfallet föreslagna bly-titan-alternativet.

Sjöfartsverket har i ett yttrande till Programrådet för radioaktivt avfall över fartygsrutter för transport av bestrålat reaktorbränsle anfört bl.a. att fartyg inte bör framföras över vattenområden med ett sådant djup att fartyget inte kan bärgas med hjälp av disponibel utrustning och beprövad teknik. Därutöver önskar sjöfartsverket bl.a. att ett system för rapportering av fartygets läge upprättas och tillämpas.

Programrådet förordar att tryckprovning av transportbehållare utförs vid tryck som minst motsvarar det största vattendjup fartyget passerar.

Programrådet har av Statens Tekniska Forskningscentral i Finland mottagit synpunkter på bl. a. korrosionsbeständigheten hos titan-bly-kapseln. Forskningscentralen understryker tillverkningsteknikens betydelse för kapselns korrosionsbeständighet och anser att följande tilläggskrav bör ställas:

- det bör påvisas att tillverkningsfel inte kan föranleda kritiska ändringar i temperaturfördelningen

- icke-förstörande metoder för att observera gjutfel bör utvecklas

- det bör påvisas att lokala defekter inte förändrar korrosionsbeständigheten.

AB Atomenergi framhåller att korrosionsegenskaperna hos det kromnickelstål som omger avfallsglaset vid leverans från upparbetningsanläggningen är ofullständigt behandlade. Den framtida utvecklingen kan, som ovan påpekats, mycket väl visa att det vore lämpligt att kunna förlänga tiden för mellanlagring till betydligt mer än 30 år. För detta fall vore under alla förhållanden det nu använda kromnickelstålet säkerligen olämpligt; ett alternativ kunde vara att göra slutinkapslingen med titan redan i början av mellanlagringsperioden. Ett annat alternativ vore att ersätta kromnickelstålet kring glaskroppen med en högresistent nickellegering, som kombinerar titanets beständighet vid lägre temperatur med stålets beständighet vid hög temperatur.

Statens offentliga utredningar 1978

Kronologisk förteckning

1. Stat–kyrka. Ändrade relationer mellan staten och svenska kyrkan. Kn.
2. Stat–kyrka. Bilaga 1. Kyrkans framtida organisation. Kn.
3. Stat–kyrka. Bilaga 2–12. Utredningar i delfrågor. Kn.
4. Skolplanering och skolstorlek. Faktaredovisning och bedömningsunderlag. U.
5. Föräldrautbildning. S.
6. Ny skogspolitik. Jo.
7. Skog för framtid. Jo.
8. Hyresrätt 2. Lokalhyra. Ju.
9. Ny konkurrensbegränsningslag. H.
10. Barnets rätt. 1. Om förbud mot aga. Ju.
11. Kapitalmarknaden i svensk ekonomi. E.
12. Kapitalmarknaden i svensk ekonomi. Bilaga 1. E.
13. Kapitalmarknaden i svensk ekonomi. Bilaga 2–4. E.
14. Arbete åt handikappade. A.
15. Praktikfrågor–åtgärder i ett kort perspektiv. U.
16. Regional konsumentpolitisk verksamhet. H.
17. Energi. I.
18. Öresundsförbindelser. K.
19. Öresundsförbindelser. Bilaga A. Ritningar. K.
20. Öresundsförbindelser. Bilaga B. Konsekvenser för företag och hushåll. K.
21. Bemanning av fartyg. K.
22. Energi, strukturomvandling och sysselsättning. A.
23. Växtförädling. Jo.
24. Ny renhållningslagstiftning. Jo.
25. Etablering av miljöstörande industri. Bo.
26. Hälso- och sjukvårdspersonalen. S.
27. Fortsatt körkortsreform. K.
28. Kvinnors förvärvsarbete och förvärvshinder. A.
29. Arbete i jordbruk och trädgård. A.
30. Brand inomhus. B.
31. Trafikpolitik-kostnadsansvar och avgifter. K.
32. Ny indelningslag för kommuner, landstingskommuner och församlingar. Kn.
33. Ordningsvakter. Ju.
34. Förstärkt skydd för fri- och rättigheter. Ju.
35. Regional utvecklingsplanering, länsplanering, vidgad länsdemokrati. Kn.
36. Arrenderätt 1. Ju.
37. Hotell- och restaurangbranschen. H.
38. Jämställdhet i arbetslivet. A.
39. Föräldraförsäkring. S.
40. Tvistlösning på konsumentområdet. H.
41. Statlig personalutbildning. B.
42. Kommunernas medverkan i sysselsättningsplanering. A.
43. Miljökostnader. Jo.
44. Kommunalt hälsoskydd. S.
45. Allmän arbetslöshetsförsäkring. A.
46. Att främja regional utveckling. I.
47. Att främja regional utveckling. Bilagedel. I.
48. Konkurrens på lika villkor. B.
49. Energi. Hälso-miljö- och säkerhetsrisker. I.

Statens offentliga utredningar 1978

Systematisk förteckning

Justitiedepartementet

Hyresrätt 2. Lokalhyra. [8]
Barnets rätt. 1. Om förbud mot aga. [10]
Ordningsvakter. [33]
Förstärkt skydd för fri- och rättigheter. [34]
Arrenderätt 1. [36]

Socialdepartementet

Föräldrautbildning. [5]
Hälso- och sjukvårdspersonalen. [26]
Föräldraförsäkring. [39]
Kommunalt hälsoskydd. [44]

Kommunikationsdepartementet

1975 års danska och svenska öresundsdelegationer. 1. Öresundsförbindelser. [18] 2. Öresundsförbindelser. Bilaga A. Ritningar. [19] 3. Öresundsförbindelser Bilaga B. Konsekvenser för företag och hushåll. [20]
Bemanning av fartyg. [21]
Fortsatt körkortsreform. [27]
Trafikpolitik-kostnadsansvar och avgifter. [31]

Ekonomidepartementet

Kapitalmarknadsutredningen. 1. Kapitalmarknaden i svensk ekonomi. [11] 2. Kapitalmarknaden i svensk ekonomi. Bilaga 1. [12] 3. Kapitalmarknaden i svensk ekonomi. Bilaga 2–4. [13].

Budgetdepartementet

Statlig personalutbildning. [41].
Konkurrens på lika villkor. [48].

Utbildningsdepartementet

Skolplanering och skolstorlek. Faktaredovisning och bedömningsunderlag. [4]
Praktikfrågor–åtgärder i ett kort perspektiv. [15]

Jordbruksdepartementet

1973 års skogsutredning. 1. Ny skogspolitik. [6] 2. Skog för framtid. [7]
Växtförädling. [23]
Ny renhållningslagstiftning. [24]
Miljökostnader. [43]

Handelsdepartementet

Ny konkurrensbegränsningslag. [9]
Regional konsumentpolitisk verksamhet. [16]
Hotell- och restaurangbranschen. [37]
Tvistlösning på konsumentområdet. [40]

Arbetsmarknadsdepartementet

Sysselsättningsutredningen. 1. Arbete åt handikappade. [14] 2. Energi, strukturomvandling och sysselsättning. [22] 3. Kvinnors förvärvsarbete och förvärvshinder. [28] 4. Kommunernas medverkan i sysselsättningsplanering. [42]
Arbete i jordbruk och trädgård. [29]
Jämställdhet i arbetslivet. [38]
Allmän arbetslöshetsförsäkring. [45]

Bostadsdepartementet

Etablering av miljöstörande industri. [25]
Brand inomhus. [30].

Industridepartementet

Energikommissionen. 1. Energi. [17] 2. Energi. Hälso-miljö- och säkerhetsrisker. [49]
Expertgruppen för regional utredningsverksamhet. 1. Att främja regional utveckling. [46] 2. Att främja regional utveckling. Bilagedel. [47]

Kommundepartementet

Kyrkoministerns stat–kyrka grupp. 1. Stat–kyrka. Ändrade relationer mellan staten och svenska kyrkan. [1] 2. Stat–kyrka. Bilaga 1. Kyrkans framtida organisation. [2] 3. Stat–kyrka. Bilaga 2–12. Utredningar i delfrågor. [3]
Ny indelningslag för kommuner, landstingskommuner och församlingar. [32]
Regional utvecklingsplanering, länsplanering, vidgad länsdemokrati. [35]

Anm. Siffrorna inom klammer betecknar utredningarnas nummer i den kronologiska förteckningen.

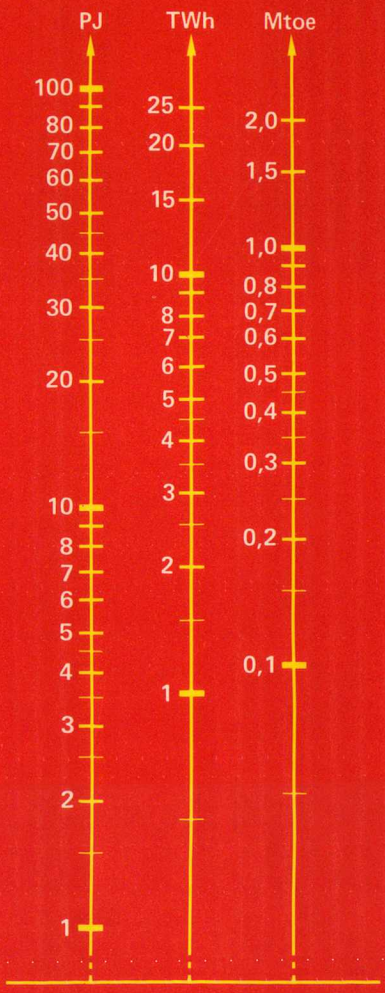


Diagram för omvandling mellan energienheter. Logaritmisk skala.

LiberFörlag
Allmänna Förlaget

ISBN 91-38-04238-X
ISSN 0375-250X