

Innehållet i en strategi för myndighets- bedömning av framtida mänskligt handlande vid värdering av säkerheten för slutförvar

Roger D. Wilmot
Stephen M. Wickham
Daniel A. Galson

Augusti 2001

SKI-perspektiv

Bakgrund

I kommande granskningar av ansökningar om tillstånd för slutförvar av använt kärnbränsle och annat kärnavfall i Sverige kommer SKI att behöva bedöma hur framtida mänskligt handlande hanterats i säkerhetsanalyser.

SKI:s syfte

Syftet med denna rapport är att diskutera frågor som bör beaktas när principer tas fram för hur framtida mänskligt handlande skall hanteras i säkerhetsbedömningar.

Rapporten är en översättning till svenska av SKI Rapport 99:46, Elements of a Regulatory Strategy for the Consideration of Future Human Actions in Safety Assessments. Översättningen har gjorts för att rapporten skall kunna användas i diskussioner i en vidare krets i Sverige.

Resultat

Rapporten innehåller en översikt av grundläggande frågor vid hantering av framtida mänskligt handlande, sammanställningar av utvecklingen på myndighetssidan, av nyligen slutförda säkerhetsanalyser och bakgrundsstudier, och av internationella initiativ, samt förslag till innehållet i en myndighetsstrategi.

Effekt på SKI:s verksamhet

Rapporten kan vara ett (av flera) underlag vid fortsatta diskussioner både inom myndigheterna (SKI och SSI) och mellan myndigheter och andra intressenter om hur framtida mänskligt handlande bör hanteras och bedömas.

Projektinformation

SKI:s handläggare har varit Christina Lilja och Stig Wingefors.

SKI ref. 14.9-971645/98141, 14.9-991303/99202 och 14.9-010422/01093.

Tidigare SKI-rapport inom området: SKI Report 99:46, Elements of a Regulatory Strategy for the Consideration of Future Human Actions in Safety Assessments, R. Wilmot, S. Wickham, D. Galson, September 1999.

Forskning

Innehållet i en strategi för myndighets- bedömning av framtida mänskligt handlande vid värdering av säkerheten för slutförvar

Roger D. Wilmot
Stephen M. Wickham
Daniel A. Galson

Galson Sciences Ltd.
5 Grosvenor House
Melton Road
Oakham
Rutland LE15 6AX
Storbritannien

Augusti 2001

SKI Projektnummer 98141

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Statens kärnkraftinspektion, SKI. Slutsatser och åsikter som framförs i rapporten är författarens/författarnas egna och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med SKI:s.

Innehållet i en strategi för myndighetsbedömning av framtida mänskligt handlande vid värdering av säkerheten för slutförvar

Rapporthistorik

Detta dokument har tagit fram av Galson Sciences Ltd på uppdrag av SKI i enlighet med SKI:s kontrakt 14.9-971645/98141.

Remissversion 1 är daterad 31 juli 1998.

Remissversion 2 innefattar kommentarer som getts av SKI i samband med ett möte den 1 september 1998.

Den slutliga versionen innefattar skrivna kommentarer från SKI (Christina Lilja) och kommentarer från ett sammanträde med SKI i juni 1999.

Innehållet i en strategi för myndighetsbedömning av framtida mänskligt handlande vid värdering av säkerheten för slutförvar				
Version:	Datum:	Huvudförfattare: R.D. Wilmot	Kontrollerad av: D.A. Galson	Godkänd av: D.A. Galson
9802-1	29 sept. 1999	Signatur: Datum:	Signatur: Datum:	Signatur: Datum:

Innehåll

Summary	1
Sammanfattning	3
1 Inledning	5
1.1 Bakgrund.....	5
1.2 Syften och omfattning.....	5
1.3 Rapportens struktur.....	6
2 Utvärdering av konsekvenserna av framtida mänskligt handlande	7
2.1 Institutionell övervakning	7
2.2 Omfattning av en säkerhetsredovisning.....	8
2.3 Scenarioutveckling	9
2.3.1 Pågående och framtida mänsklig verksamhet.....	9
2.3.2 Framtida samhällslig och teknisk utveckling	10
2.4 Oavsiktliga och avsiktliga mänskliga intrång.....	11
2.5 Val av exponerade grupper.....	11
2.6 Sammanfattning.....	12
3 Utveckling av myndighetskrav utanför Sverige	15
4 Bedömning av mänskliga handlingar i nyligen publicerade analyser	21
5 Synpunkter och frågeställningar som diskuteras internationellt	29
5.1 NEA-arbetsgrupper	29
5.1.1 Arbetsgruppen för bedömning av framtida mänskligt handlande.....	29
5.1.2 Arbetsgruppen för myndighetsaspekter avseende framtida mänskligt handlande	30
5.2 Miljömässiga och etiska grundförutsättningar för djupa geologiska slutförvar	31
5.3 IAEA-initiativ	32
5.3.1 Säkerhetsindikatorer inom olika tidsramar	32
5.3.2 Frågor kring slutförvaring av radioaktivt avfall.....	33
5.3.3 Underhåll av arkiv över slutförvar för radioaktivt avfall.....	33
6 Nyckelkomponenter i en myndighetsstrategi	35
6.1 Institutionell övervakning	35
6.1.1 Typer av övervakning	35
6.1.2 Effektivitet hos övervakning.....	36
6.2 Omfattning av säkerhetsredovisningen.....	37
6.3 Scenarier med mänskligt handlande	38
6.3.1 Pågående mänskligt verksamhet eller framtida mänsklig verksamhet	38

6.3.2	Antaganden om framtidsamhällstillstånd	39
6.3.3	Definition av störande verksamhet	40
6.4	Avsiktligt intrång	41
6.5	Val av exponerade grupper	42
6.6	Ett internationellt arbetssätt för att bedöma mänskligt handlande.....	42
6.7	Slutsatser.....	43
7	Referenser	45
Bilaga A	Utveckling av myndighetskrav utanför Sverige	51
A.1	Kanada	51
A.2	Finland	51
A.3	Frankrike.....	52
A.4	De nordiska länderna	53
A.5	Schweiz.....	54
A.6	Storbritannien	54
A.6.1	Riktlinjer för krav på godkännande	54
A.6.2	Markov-modellerna för framtida mänskligt handlande	55
A.7	USA	58
A.7.1	WIPP (Waste Isolation Pilot Project)	58
A.7.2	Yucca Mountain-föreskrifter	59
A.7.3	Andra miljökrav i USA.....	60
Bilaga B	Hantering av mänskliga handlingar i nyligen genomförda säkerhetsanalyser.....	63
B.1	Myndigheters säkerhetsanalyser	63
B.1.1	Sverige	63
B.2	Säkerhetsanalyser som genomförts av organisationer som söker eller planerar att söka tillstånd till slutförvar	64
B.2.1	Belgien	64
B.2.2	Kanada	66
B.2.3	Finland	68
B.2.4	Nederländerna	69
B.2.5	Spanien.....	70
B.2.6	Sverige: SKB – SR 95	71
B.2.7	Schweiz.....	77
B.2.8	Storbritannien.....	77
B.2.9	USA	79

Figurförteckning

- A.1 Schematisk illustration av en åttatillståndsmodell för interaktionen mellan olika faktorer som bedöms som särskilt relevanta för att uppskatta framtida mänskligt handlande vid en slutförvarsplats57
- B.1 Övre diagrammet: Illustration av några av de antaganden som görs i SKB:s exempelberäkningar med avseende på positionen för en exponerad människa i förhållande till de olika strålkällorna (borrkärna, kontaminerad mark och kontaminerade kläder). Nedre diagrammet: Bidragen från de olika strålkällorna till totaldosen75
- B.2 Illustration av riskförändringen över tiden för två av SKB:s exempelberäkningar, en där all kunskap om slutförvaret har gått förlorad efter 500 år (övre diagrammet), och en där all kunskap har gått förlorad vid tiden för förslutning av slutförvaret (nedre diagrammet).....76

Tabeller

3.1	Sammanfattning av myndighetsbedömning av mänskligt handlande i samband med slutförvar för radioaktivt avfall	18
4.1	Sammanfattning av analyser av mänskligt handlande i samband med slutförvar för radioaktivt avfall	25
B.1	Uppskattade sannolikheter för borrhning genom en avfallsbehållare i SKB:s scenario med mänskligt intrång.....	74

Summary

The objective of this report is to discuss issues that should be considered in the development of a regulatory strategy for assessing future human actions in any forthcoming license application for a deep repository for spent fuel in Sweden and for sites of other repositories.

The report comprises an outline of key issues concerning the treatment of future human actions in safety assessment, reviews of regulatory developments, recent safety assessments and supporting studies, and international initiatives on the treatment of future human actions in safety assessment, and the principal elements of a regulatory strategy.

Performance assessments (PAs) are generally accepted as providing illustrations of system performance under given sets of assumptions. The results of PAs are clearer and easier to understand if certain large uncertainties are accounted for by determining performance under several different sets of assumptions or scenarios, each of which defines a possible evolution of the disposal system.

A number of assumptions can be made that would restrict the scope of an assessment without reducing the credibility of the corresponding safety case. Reducing speculation about technological development, by assuming that the techniques used in future human activities are similar to those currently in use in the region or at similar sites, will simplify the assessment. A distinction is generally made between inadvertent and intentional intrusion, with intentional activities excluded because society cannot protect future populations from their own actions if they understand the potential consequences. A division of human activities into "recent and ongoing" and "future" activities considers not only the timing of the activities but also the degree of control or influence that can be imposed on them.

Recent and ongoing human activities are those that affect an area beyond the immediate vicinity of the disposal facility and which neither the proponent nor the regulator can influence. Examples include anthropogenic climate change and activities that have recently taken place in the vicinity of the disposal site, such as groundwater abstraction.

Future human activities are those that may take place in the vicinity of the disposal system at some time in the future and which may affect the performance of the disposal system by by-passing or affecting the characteristics of the engineered and natural barriers. Institutional controls can prevent or reduce the likelihood of any disruptive activities.

It may be inappropriate to treat recent and ongoing human activities in the same way as future human activities. Scenarios that include the occurrence of future human activities are conditional and are used to illustrate the potential behaviour of the system. Scenarios including recent and ongoing human activities are not conditional and may provide a better estimate of system performance than those that exclude such activities.

The focus of assessments of future human actions should be on longer-term doses received by groups of people who might anyway be considered in the Reference Scenario. In particular, human intrusion assessments should include groups considered in assessments

of groundwater releases who may receive additional doses from new pathways arising from future human actions, and groups consuming foodstuffs contaminated by radionuclides brought to the surface during or subsequent to an intrusion and dispersed into the biosphere. Members of a drilling crew that intrude into a repository do not fulfil the definition of a potentially exposed group because any intrusion would be an isolated activity not occurring on a day-to-day basis. The dose received by one individual from a specific short-term event cannot be compared with a regulatory criteria expressed as an average annual dose.

The following outline strategy is proposed as a basis for consultation on the treatment of future human actions.

- Assessments must include calculations of disposal system performance without any disruptive future human actions. These calculations should include the effects of any recent and ongoing human activities that might affect the performance of the disposal system. Additional calculations should illustrate the potential effects of disruptive human actions.
- Assessments of future human actions should be based on present-day conditions in the region of the disposal site and similar sites. Site-specific definitions of the region considered and the period examined for defining rates and frequencies should be provided by the proponent.
- Assessments should consider the long-term effects of disruption through the formation of new pathways and the dispersal of radioactive material in the biosphere. The proponent should develop and justify the scenarios analysed in an assessment.

In addition to developing guidance for the proponent on the scope and conduct of assessments, the regulator could undertake illustrative assessments in order to assure themselves that they understand the impacts of the proposed strategy. Work on both guidance and independent assessments could be supported by the development of an international reference human action approach.

Sammanfattning

Syftet med denna rapport är att diskutera frågor som bör beaktas vid utveckling av principer för myndigheternas (SKI:s och SSI:s) bedömning av framtida mänskligt handlande i samband med kommande granskningar av ansökningar om tillstånd för slutförvaring av använt kärnbränsle och annat kärnavfall i Sverige.

Rapporten omfattar en översikt av grundläggande frågor vid hantering av framtida mänskligt handlande, sammanställningar av utvecklingen på myndighetssidan, av nyligen slutförda säkerhetsanalyser och bakgrundsstudier och av internationella initiativ, samt förslag till innehåll i en myndighetsstrategi.

Säkerhetsanalyser används allmänt för att illustrera hur ett slutförvar fungerar under olika förhållanden. Resultaten av säkerhetsanalysen är klarare och lättare att förstå om vissa stora osäkerheter behandlas i särskilda scenarier, där vart och ett beskriver ett möjlig utveckling av slutförvaret och dess omgivning.

Ett antal förutsättningar kan definieras för att om möjligt begränsa omfattningen av säkerhetsanalysen utan att minska trovärdigheten hos säkerhetsredovisningen. Ett sätt att förenkla bedömningen är att undvika spekulationer om den tekniska utvecklingen genom att förutsätta att den teknik som används i framtida mänsklig verksamhet liknar den som används idag, regionalt eller på liknande platser. Man gör vanligen skillnad mellan oavsiktligt och avsiktligt intrång. De senare utesluts från fortsatt analys eftersom samhället av idag aldrig kan skydda en framtida befolkning från dess egna handlingar som den utför i medvetande om tänkbara konsekvenser. En uppdelning av mänsklig verksamhet i ”pågående” och ”framtida” verksamheter kan göras inte bara för att särskilja när handlingarna inträffar utan också för att avgöra vilken kontroll eller inflytande man kan utöva på dem. (Begreppet ”pågående” inbegriper även sådana aktiviteter som inträffat relativt nyligen.)

Pågående mänskliga verksamheter är sådana som berör ett område utanför ett slutförvars omedelbara närhet och där varken den sökande eller myndigheterna har ett inflytande. Exempel härpå är såväl mänsklig klimatpåverkan som verksamheter vilka nyligen ägt rum i omgivningarna kring ett slutförvar, som uttag av grundvatten.

Framtida mänskliga verksamheter är sådana som kan äga rum i närheten av slutförvaret någon gång i framtiden och som kan påverka dess funktion genom att kortsluta eller försämra egenskaperna hos de tekniska eller naturliga barriärerna. Institutionell kontroll kan förhindra eller minska sannolikheten för sådana förstörande skadliga verksamheter.

Det kan vara olämpligt att behandla pågående och framtida mänskliga verksamheter på samma sätt. Scenarier som inkluderar framtida mänsklig verksamhet bygger på olika antaganden och används för att illustrera systemets funktion i olika tänkbara situationer. För scenarier som inkluderar pågående mänsklig verksamhet är inte sådana antaganden nödvändiga och kan medge en bättre uppskattning av systemets funktion än de som inte beaktar sådana verksamheter.

Bedömningar av framtida mänskliga handlingar bör generellt fokusera på doser till grupper av människor långt fram i tiden och vilka ändå beaktas i ett referensscenario. Bedömningen av mänskligt *intrång* i slutförvar bör inbegripa dels sådana grupper som kan utsättas från utläckage till grundvatten och som skulle kunna få ytterligare dos från nya transportvägar som kan uppstå till följd av intrånget, dels grupper som konsumerar födoämnen vilka kontaminerats av radionuklider som förts upp till ytan i samband med ett intrång och sedan spridits i biosfären. Medlemmarna i ett borrarlag som gjort intrång i ett slutförvar är per definition inte att betrakta som medlemmar av en "potentiellt exponerad grupp" eftersom ett intrång skulle vara en isolerad verksamhet som inte inträffar dagligen. Individdosen från en isolerad kortvarig händelse kan inte jämföras med myndighetskriterier uttryckta i en medeldos på årsbasis.

Följande principer föreslås ingå i en strategi för bedömning av framtida mänskligt handlande:

- Säkerhetsanalyser måste inkludera beräkningar av hur slutförvaret fungerar utan störande framtida mänskligt handlande. Beräkningarna bör dock ta hänsyn till inverkan från pågående mänsklig verksamhet. Ytterligare beräkningar bör göras för att illustrera tänkbara effekter av störande mänskligt handlande.
- Utvärderingen av framtida mänskligt handlande bör grundas på dagens förhållanden i den region där slutförvaret är beläget och på liknande platser. Platsspecifik definition av regionens utsträckning och den tidsperiod som ligger till grund för bestämning av frekvenser bör anges av sökanden.
- Säkerhetsanalyser bör ta hänsyn till effekten på lång sikt av störningar genom uppkomst av nya transportvägar och spridning av radioaktivt material i biosfären. Sökanden bör utveckla och motivera de scenarier som analyseras.

Förutom att utveckla råd till sökanden rörande omfattning och utförande av säkerhetsanalyser kan myndigheterna företa egna illustrativa analyser för att förvissa sig om att en föreslagen strategi är lämplig. Arbetet med både rådgivning och oberoende säkerhetsanalyser skulle kunna ha nytta av om det utvecklades en internationell referensmetod för att hantera framtida mänskligt handlande.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I Sverige regleras all kärnteknisk verksamhet av Statens kärnkraftinspektion (SKI) och Statens strålskyddsinstitut (SSI). Detta innefattar även hantering och slutförvaring av kärnavfall till vilket även räknas slutförvarat använt kärnbränsle. Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) ansvarar för den faktiska hanteringen och slutförvaringen av kärnavfall.

Framtida mänskligt handlande måste beaktas med ett brett synsätt vid framtagning av en policy för långsiktig hantering av radioaktivt avfall. Detta gäller även med avseende på miljökonsekvensbeskrivningar (MKB). Sådana överväganden är ett av skälen bakom att man världen över inriktar sig på geologisk slutförvaring för långlivat radioaktivt avfall, istället för en långsiktig eller tidsmässigt obegränsad ytnära förvaring¹. Ett djupt beläget geologiskt slutförvar betraktas som ett passivt säkert system som inte kräver kontinuerlig institutionell övervakning för att garantera den långsiktiga säkerheten. SKB håller på att lokalisera ett sådant djupt slutförvar för använt kärnbränsle. Som en del av detta arbete kommer SKB att ta fram en MKB där alternativen till slutförvaring måste beaktas.

En viktig fråga vid prövning av slutförvar är bedömningen av framtida mänskligt handlande. Myndigheterna har redan gett SKB tillstånd för slutförvaring av låg- och medelaktivt driftavfall vid Forsmark (SFR), men kräver ändå en strategi för hantering av frågan vid kommande granskningar av ansökningar om tillstånd för slutförvar för använt kärnbränsle. SKI har beaktat frågan om mänskligt intrång i sitt arbete med att utveckla scenarier (Andersson et al., 1989) och i den nyligen genomförda säkerhetsanalysprojektet SITE-94 (SKI, 1996). Men myndigheternas arbete med säkerhetsanalyser har inte tydligt tagit hänsyn tillom det behövs en internationell samsyn ('consensus') i frågan och myndigheterna har heller ännu inte utvecklat och dokumenterat en enhetlig strategi för att hantera frågan om framtida mänskligt handlande vid värdering av säkerheten under prövning av tillståndför slutförvar. En sådan strategi kan behövas av två skäl: dels för att informera om analysarbetet och dels för att ge riktlinjer till SKB om vad som skulle betraktas som acceptabelt i en säkerhetsredovisning.

1.2 Syften och omfattning

Huvudsyftet med denna rapport är att förse de svenska myndigheterna med material för en myndighetsstrategi för hantering av mänskligt intrång och framtida mänskligt handlande i deras analyser. En sådan myndighetsstrategi måste beakta följande frågor.

- En övergripande synsätt för att hantera frågor om mänskligt handlande i säkerhetsanalyser.

¹ Med tanke på framtida generationer förefaller alltså slutförvaring i djupa geologiska formationer vara lämpligare än tidsmässigt obegränsad förvaring eller lagring ovanför eller nära markytan.

- Riktlinjer till SKB om acceptabla arbetssätt då det gäller bedömning av framtida mänskliga ingrepp i olika analyser.
- Sätt att identifiera, sälla ut och bedöma tänkbara konsekvenser av framtida mänskligt handlande, inklusive antaganden om framtida samhällen.
- Sätt att hantera osäkerhetsfaktorer i bedömningen av möjlig inverkan av framtida mänskligt handlande på slutförvarets säkerhet. Detta inkluderar t.ex. effektiviteten i en eventuell övervakning.

1.3 Rapportens struktur

Huvudinnehållet i rapporten presenteras i följande fem kapitel:

- Kapitel 2 ger en översikt över nyckelfrågor då det gäller bedömning av framtida mänskligt handlande i säkerhetsanalyser.
- Kapitel 3 sammanfattar en granskning av status för myndigheternas arbete i ett antal OECD-länder då det gäller bedömning av framtida mänskligt handlande i säkerhetsanalyser.
- Kapitel 4 sammanfattar en granskning av hur framtida mänskligt handlande har bedömts i aktuella säkerhetsanalyser och stödande studier i ett antal OECD-länder.
- Kapitel 5 granskar och dokumenterar nyligen genomförda internationella initiativ och aktuellt tänkande kring bedömning av framtida mänskligt handlande i säkerhetsanalyser.
- Kapitel 6 ger specifika råd för innehållet i en strategi för myndighetsbedömning av framtida mänskligt handlande vid värdering av säkerheten för slutförvar.

Två bilagor ger ytterligare detaljer från vår granskning:

- Bilaga A presenterar ytterligare detaljer om status för myndigheternas arbete kring bedömning av framtida mänskligt handlande i säkerhetsanalyser.
- Bilaga B presenterar ytterligare detaljer om hur framtida mänskligt handlande har bedömts i nyligen utkomna säkerhetsanalyser och stödande studier.

Det material som har granskats för kapitlen 3-5 och bilagorna A och B har samlats in till och med augusti 1998. Även om ytterligare säkerhetsanalyser sedan dess har genomförts (t ex i Finland och USA) och remissversioner av föreskrifter har publicerats (t ex i USA), eller snart skall publiceras (t ex i Japan och Sverige), känner vi inte till någonting i den senaste utvecklingen som skulle förändra den generella bild som presenteras här.

2 Utvärdering av konsekvenserna av framtida mänskligt handlande

Detta kapitel diskuterar några viktiga frågor med avseende på hantering av mänskligt handlande och de antaganden som behövs för bedömning av deras verkan. Det första avsnittet handlar om institutionell övervakning som kan tillämpas för att minska inverkan av mänskligt handlande. Efterföljande avsnitt diskuterar frågor som har att göra med omfattningen av säkerhetsanalyser och definitioner av scenarier för mänskligt handlande. Här talas om oavsiktliga och avsiktliga mänskliga handlingar och om urval av exponerade grupper för konsekvensmodeller.

Dessa diskussioner ger en bakgrund till granskningar i andra länder än Sverige (kapitel 3) och till hanteringen av mänskligt handlande i nyligen genomförda säkerhetsanalyser (kapitel 4). Dessa frågor behandlas även i rekommendationerna för innehållet i en föreslagen myndighetsstrategi (kapitel 6).

2.1 Institutionell övervakning

Termen *institutionell övervakning* innefattar en mängd olika åtgärder som är avsedda att förebygga eller förhindra mänsklig verksamhet i närheten av ett slutförvar. Institutionell övervakning kan vara "aktiv", vilket innebär kontinuerlig närvaro eller kontroll på platsen, eller "passiv", vilket innebär utplacering av markörer eller bevarande av information i form av kartor och arkiverade dokument.

Två typer av mänsklig verksamhet kan påverkas av institutionell övervakning:

- Störande mänsklig verksamhet – verksamhet som kan leda till utsläpp av radionuklider till biosfären tidigare än vad som annars skulle vara fallet.
- Icke störande verksamhet – verksamhet som kan öka exponeringen för radionuklider som redan har nått biosfären via naturliga processer.

Sannolikheten för att någon av dessa typer av mänsklig verksamhet skulle resultera i förhöjda doser är betydligt större för ytnära förvar än för djupa slutförvar. Exempelvis finns det fler mänskliga verksamheter som kan nå ner till ett ytnära slutförvars nivå än som når djup typiska för ett djupt slutförvar. Institutionell övervakning som minskar omfattningen av sådan verksamhet under perioden omedelbart efter deponeringen, när avfallet är som mest aktivt, skulle därför vara av större vikt för ytnära förvar.

De tider som är aktuella för transport med grundvattnet av radionuklider från ett djupt slutförvar till biosfären är vanligtvis betydligt längre än den tidsperiod under vilken någon form av institutionell övervakning kan förväntas vara effektiv. Å andra sidan gäller att de kortare transportvägar som radionuklider behöver avverka för att nå biosfären från ett ytnära förvar innebär att institutionell övervakning fortfarande kan vara effektiv för att minska doserna till befolkningen i förvarets närhet. Ännu en gång, etablering av detta understryker att institutionell övervakning är viktigare för ytnära förvar än för djupa slutförvar. Säkerheten efter

förslutning av ett djupt slutförvar bör generellt sett inte vara beroende av institutionell övervakning. Institutionell övervakning torde vara viktig för ytnära förvar, och för det fall det går en lång tid mellan avfallsdeponeringen och förseglingen av ett djupt slutförvar². Institutionell övervakning för djupa slutförvar kan också föreslås i syfte att ge ytterligare säkerhet. Antaganden kring effektiviteten för institutionell övervakning är därför potentiellt relevanta för analyser av såväl ytnära slutförvar som djupa slutförvar.

Aktiv institutionell övervakning av slutförvarsplatsen kan förebygga eller avslöja lokal störande verksamhet genom lokala säkerhetsåtgärder och bevakning, men det finns ingen samsyn kring hur lång den period är under vilken aktiv övervakning rimligtvis kan vara effektiv. Perioderna för effektiv institutionell övervakning som förutsätts i föreskrifter och i nyligen utkomna säkerhetsanalyser beskrivs i kapitlen 3 och 4 i denna rapport. På motsvarande sätt gäller, att även om det finns en allmän samsyn om att flera passiva regleråtgärder bör vidtas (NEA, 1995a) är det omöjligt att kvantifiera deras effektivitet. Denna osäkerhet läggs till de stora osäkerhetsfaktorer som redan är kopplade till begreppet mänskligt handlande.

Riktlinjer från myndigheterna med avseende på den period under vilken institutionell övervakning kan förväntas vara effektiv skulle innebära att en betydande osäkerhetskälla hanteras. Riktlinjer om värdet av passiv övervakning för att minska sannolikheten för intrång skulle också bidra till att förhindra onödiga spekulationer.

2.2 Omfattning av en säkerhetsredovisning

Oberoende av vilken typ av institutionell övervakning som väljs, har mänskligt handlande potentialen att påverka funktionen hos djupa geologiska slutförvar och måste därför beaktas i varje säkerhetsredovisning. Säkerhetsredovisningen måste ge garanti för att ett systems totala långsiktiga funktion uppfyller gällande nationella och internationella säkerhetskriterier.

En säkerhetsredovisning omfattar en mängd delar med kvantitativ och kvalitativ information. En viktig sådan del är *säkerhetsanalysen* - som utvärderar slutförvarsanläggningens totala funktion, med hänsyn tagen till alla osäkerhetskällor. Säkerhetsanalysen illustrerar ett systems funktion under olika givna uppsättningar av antaganden (NEA 1991). Resultatet av säkerhetsanalysen framstår tydligare och är lättare att förstå om stora osäkerhetsfaktorer hanteras genom att funktionen fastställs utgående från olika uppsättningar antaganden eller scenarier. Varje sådant scenario definierar en möjlig utveckling för slutförvarsanläggningen.

Ett viktigt scenario gäller utvecklingen av slutförvaret utan störningar på grund av framtida mänskligt handlande och osannolika naturliga händelser. De scenarier kallas "ostört scenario", "basscenario", "centralscenario" eller "referensscenario". Vi utnyttjar i första hand termen "ostört scenario" i denna rapport. De förhållanden, händelser och processer - FEP (från engelskans Features, Events and Processes) som ingår i detta scenario fastställs

² Att förlita sig på institutionell övervakning under viss tid i ett sådant fall, i syfte att göra det möjligt att återta avfall, kan stå i motsats till den generella principen att det samhälle som drar fördel av en viss teknik inte skall lägga en börda, associerad till denna teknik, på framtida generationer.

vanligtvis genom en systematisk urvalsprocess från en fullständig lista över FEP. Vissa FEP kan uteslutas därför att de kan anses som icke relevanta för den aktuella analysen, därför att de har låg sannolikhet eller därför att de bedöms ha små konsekvenser för systemets funktion. Konsekvenserna av händelser med låg sannolikhet, som skulle kunna öka utsläppen av radionuklider från slutförvaret eller påverka transporten av radionuklider genom tekniska eller naturliga barriärer, kan beaktas i tilläggs-scenarier.

Scenarier som beaktar framtida mänskligt handlande kan definieras antingen genom urval från en fullständig FEP-lista eller genom ett *a priori*-beslut angående tänkbara framtida verksamheter. Omfattningen av möjliga framtida mänskliga handlingar är stor och odefinierad och sannolikheten för ett visst sådant handlande är omöjlig att fastställa. Urvalet i sig kan givetvis inte avgöra vilken mänsklig verksamhet som kan komma att inträffa vid en viss plats i framtiden. Detta gör det särskilt svårt att hantera framtida mänskligt handlande i bedömningen av en säkerhetsredovisning.

Generellt gäller att den som utvecklar och föreslår en slutförvarslösning genomför en serie säkerhetsanalyser i samband med systemval, platsval, slutförvarsutformning, optimering och i olika faser av tillståndsprövningsprocessen. Den utsträckning i vilken mänskligt handlande beaktas i dessa säkerhetsanalyser varierar med analysens syfte. Under platsvalet kan frågan om förekomst av naturresurser stå i fokus, medan säkerhets- och funktionsanalyser genomförda som en del av optimeringen kan beakta hur olika konstruktionselement inverkar på konsekvenserna av ett intrång.

Tillsynsmyndigheten, som kan genomföra oberoende analyser för att få ökad insikt i vissa av nyckelfrågorna med avseende på säkerheten, bedömer riktigheten för varje inlämnad analys som ingår i en säkerhetsredovisning och värderar resultatet med hänsyn till det gällande myndighetskriteriet eller gränsvärden. De antaganden som kan göras med avseende på hantering av mänskligt handlande har stor bredd. Därför skulle riktlinjer från myndigheten vara till hjälp för att garantera att potentiell inverkan, inklusive sådan som är relaterad till mänskligt handlande, hanteras på korrekt sätt i en säkerhetsanalys.

2.3 Scenarioutveckling

I detta kapitel diskuteras frågor som har att göra med omfattningen av mänskligt handlande, som skall tas med i analyser samt framtida social och teknisk utveckling och deras inverkan på definitionen av scenarier.

2.3.1 Pågående och framtida mänsklig verksamhet

En uppdelning av mänsklig verksamhet i "pågående" och "framtida" verksamheter kan göras inte bara för att särskilja när handlingarna inträffar i tiden utan också för att avgöra vilken kontroll eller inflytande man kan ha utöva på dem. (Begreppet "pågående" inbegriper även sådana aktiviteter som inträffat relativt nyligen.) För början av perioden som analyseras måste andra faktorer beaktas och det är till hjälp att göra en ytterligare indelning av mänskliga ingrepp i "global" och "lokal" verksamhet.

Pågående mänsklig verksamhet är sådan verksamhet som påverkar ett område utöver ett slutförvars omedelbara närhet och som varken den sökande eller myndigheten enkelt kan påverka. Detta innefattar **global mänsklig verksamhet** som har omfattande eller till och med global inverkan, exempelvis mänsklig klimatpåverkan som beror på utsläpp av växthusgaser i atmosfären. De innefattar även **lokal mänsklig verksamhet** som nyligen har skett i närheten av slutförvarsplatsen, som uttag av grundvatten, tillsammans med eventuell varje lokal mänsklig verksamhet som med säkerhet kommer att bedrivas under en viss period efter stängning av slutförvaret.

Däremot är **framtida mänsklig verksamhet** sådan verksamhet, som kan komma att genomföras i närheten av slutförvarsplatsen vid någon tid i framtiden och som kan påverka förvarets funktion genom att kortsluta eller försämra egenskaperna för de tekniska och naturliga barriärerna. Framtida mänsklig verksamhet med storskalig och potentiellt global inverkan, som kärnvapenkrig, beaktas inte i besluten kring slutförvarssäkerhet.

Eftersom den redan har inträffat eller med säkerhet kommer att inträffa, kan det vara olämpligt att behandla pågående mänsklig verksamhet på samma sätt som framtida mänsklig verksamhet. Scenarier som innefattar framtida mänsklig verksamhet kan bara illustrera olika tänkbara utvecklingar hos systemet. Scenarier som innefattar pågående mänsklig verksamhet, oberoende av om det är frågan om lokal eller global verksamhet kan ge en bättre uppskattning av förväntad systemfunktion än scenarier som inte innefattar sådan verksamhet.

Riktlinjer från myndigheterna om vilka mänskliga handlingar som bör tas med i bedömningen av pågående mänsklig verksamhet, såväl lokal som global, skulle garantera att analyserna ger tillbörliga uppskattningar av systemets funktion.

2.3.2 Framtida samhällslig och teknisk utveckling

För analyser av framtida mänskligt handlande behövs antaganden om framtida uppträdandemönster och om de störande processerna i sig själva. Mönster för mänskligt uppträdande styrs till en del av teknisk utveckling och till en del av klimatförhållanden. Som ett exempel på klimatets roll kan vi konstatera att under de närmast kommande hundratusen åren förväntas slutförvarsanläggningarna i Sverige komma att täckas av inlandsis en eller flera gånger, beroende på plats. Under den allt kallare perioden före nedisning kommer befolkningen troligen att minska och den mänskliga verksamheten att bli mindre omfattande. Antagande av dagens befolkningsfördelning skulle förmodligen utgöra ett rimligt gränsvärde för omfattningen av framtida mänsklig verksamheter under denna period. Bedömning av inverkan från borring kan kräva information om borrhålsdiameter och borrhålsdjup. Antaganden kring dessa faktorer bör motsvara de borrhålsmetoder som för närvarande tillämpas vid den aktuella typen av verksamhet.

Att minska spekulationerna kring den tekniska utvecklingen genom att anta att de metoder som används vid framtida mänsklig verksamhet liknar dem som används idag i den aktuella regionen eller vid liknande platser skulle förenkla en bedömning. Även om sådana förenklingar kan vara önskvärda för myndigheternas beslutsfattande kan det fortfarande finnas ett behov för myndigheten att förutse de typer av filosofiskt resonemang om möjlig samhälls-

utveckling som skulle kunna föras fram av andra intressenter i debatten kring slutförvars-säkerhet. Framför allt skulle en diskussion om möjlig samhällelig utveckling och konsekvenserna kopplade till intrångsscenarioer kunna vara nödvändig för att uppfylla allmänhetens krav.

2.4 Oavsiktliga och avsiktliga mänskliga intrång

Oavsiktligt framtida mänskligt intrång definieras (NEA, 1995a) som:

Verksamhet som innebär att antingen slutförvaret eller dess barriärsystem oavsiktligt genombrutits eller att systemfunktionen försämras; som en följd av att förvarets placering är okänd, dess syfte har glömts eller konsekvenserna av handlingarna är okända.

Oavsiktligt framtida mänskligt intrång har beaktats i många analyser (se kapitel 4).

Omvänt definieras framtida mänskligt intrång (NEA, 1995a) som handlande där:

...de som i framtiden gör intrång är medvetna om avfallets existens och om konsekvenserna av att störa slutförvaret eller dess barriärsystem...

Det har framhållits att dagens samhälle inte kan skydda framtida samhällen mot deras egna åtgärder, om framtidens människor förstår de möjliga konsekvenserna av sin verksamhet (NEA, 1995b). Detta argument har använts för att minska omfattningen av den framtida mänskliga verksamhet som måste beaktas vid analyser. Därvid skulle man alltså kunna utesluta avsiktligt förstörande intrång i slutförvaret.

Distinktionen mellan oavsiktligt och avsiktligt intrång blir mera komplex om slutförvarskonstruktionen även skall ge möjlighet till återtagbarhet. I detta fall måste säkerheten för framtida människor som återtar avfallet beaktas, även om de skulle ha kunskap om slutförvaret och följaktligen vara att betrakta som avsiktligt inträngande. Under driftfasen för ett slutförvar för använt kärnbränsle är det nödvändigt att uppfylla internationella krav på bevakning av klyvbart material (safeguard). Kontinuerlig övervakning av detta slag kan komma att krävas även efter förslutning. Övervakning efter förslutning av ett slutförvar skulle emellertid i vissa fall kunna betraktas som en form av avsiktligt intrång.

Riktlinjer från myndigheterna med avseende på hantering av avsiktligt intrång och definition av den grad av återtagbarhet, övervakning efter förslutning och annan "avsiktlig" verksamhet (t ex framtida gemensam slutförvaring av avfall) som måste beaktas i en säkerhetsanalys skulle vara värdefull.

2.5 Val av exponerade grupper

Säkerhetsanalyser av slutförvar kan ta hänsyn till ett flera mått på uppnådd grad av säkerhet och strålskydd, inklusive medelvärde av den årliga dosen till individer i en potentiellt exponerad grupp. En exponerad grupp är en relativt homogen grupp ur allmänheten, defi-

nierad utgående från den dagliga verksamhet som kan bli aktuell för en normal person. Uppträdande som en sådan person skulle betrakta som extremt och som inga beteendeanalyser har påvisat behöver inte beaktas vid definitionen av sådana grupper. På grund av osäkerheten vid definition av framtida exponering räcker det inte med ange en enda exponerad eller kritisk grupp för tiden efter förslutning, och det är alltså i princip nödvändigt att beakta alla exponerade grupper vars olika livsstil och vanor potentiellt skulle kunna leda till höga doser.

Myndighetskriterier kan uttryckas som begränsningar av individdoser men det är viktigt att försäkra sig om att inte alltför stor vikt fästs vid höga doser som tas emot av ett litet antal individer under en kort tid. Dessa doser skulle vara synnerligen osäkra och det kan ifrågasättas om de bör läggas till grund för myndigheters beslutsfattande. Det är inte säkert att det är möjligt att jämföra den dos som tas emot av en eller ett fåtal individer på grund av en specifik kortvarig händelse, med de myndighetskriterier som uttrycks som medelårsdos³.

Potentiellt exponerade grupper, som skulle kunna utsättas för långsiktiga doser exempelvis från utsläpp i grundvatten, måste definieras för scenarier med ostörd funktion. Bedömning av mänskligt intrång kanske måste beakta tillkommande doser som tas emot av dessa grupper, liksom doser till olika grupper som beror på bildning av nya transportvägar. Riktlinjer för val av potentiellt exponerade grupper att beakta i konsekvensberäkningar skulle vara till hjälp.

2.6 Sammanfattning

Detta kapitel har sammanfattat ett antal frågor som har att göra med hantering av mänsklig verksamhet vid säkerhetsanalyser kring slutförvar och har påvisat områden där myndighetsriktlinjer skulle vara till hjälp. De identifierade områdena är följande:

- Den period under vilken institutionell övervakning kan antas vara effektiv samt bedömning av passiv övervakning i säkerhetsanalyser, där så anses nödvändigt.
- Bedömning av pågående mänsklig verksamhet i jämförelse med framtida mänsklig verksamhet.
- Vilka typer av framtida mänsklig verksamhet som skall analyseras, inklusive hur samhällslig och teknisk utveckling skall hanteras vid bedömningen.
- Bedömning av avsiktliga intrång med hänsyn till eventuell önskad omfattning av återtagbarhet och övervakning efter förslutning av slutförvaret, liksom andra former av avsiktligt mänskligt intrång som måste beaktas i analyser.
- Identifiering och val av potentiellt exponerade grupper vid intrångsanalyser.

Följande två kapitel sammanfattar riktlinjer och kriterier i länder utanför Sverige och de antaganden som har gjorts i ett antal program för bedömning av mänsklig verksamhet i

3 I Sverige tillämpas numera ett riskkriterium enligt SSI FS 1998:1.

analyser. Syftet med dessa kapitel är att ge bakgrundsmaterial för diskussion om en myndighetsstrategi i Sverige.

3 Utveckling av myndighetskrav utanför Sverige

I detta kapitel ger vi en sammanfattning av situationen för utvecklingen av myndighetskrav kring bedömning av mänskligt handlande i analyser i sex OECD-länder utanför Sverige. Ytterligare detaljer om föreskrifterna och deras krav med avseende på bedömning av mänskligt handlande ges i bilaga A.

De följande sammanfattningarna är korta beskrivningar av regelverken i vart och ett av länderna som ingår i granskningen. De nationella föreskrifterna sammanfattas även i tabell 3.1.

- Kanadensiska föreskrifter (AECB, 1985; 1987a; 1987b) kräver att oavsiktligt mänskligt intrång beaktas i säkerhetsanalyser genom identifiering av intrångsscenarioer och uppskattning av sannolikheten för att sådana inträffar.
- I en remissversion av de finska föreskrifterna (STUK, 1998) rekommenderar att inverkan av störande framtida mänskligt handlande skall prövas såväl kvalitativt som kvantitativt. Emellertid krävs att slutförvarsdjupet är tillräckligt för att intrång skall vara mycket osannolikt och platsvalet skall utesluta områden med potential för mineralutvinning.
- Franska föreskrifter (DSIN, 1992) anger ett antal specifika scenarier med mänskligt handlande som måste beaktas av de sökande.
- Schweiziska föreskrifter (HSK och KSA, 1993) konstaterar att det är omöjligt att förutsäga framtida mänskligt handlande, men kräver att händelser och processer som skulle kunna störa ett slutförvar skall beaktas vid utveckling av scenarier. Avsiktligt intrång, händelser med mycket låg sannolikhet och händelser med stora icke-radiologiska konsekvenser utesluts.
- I Storbritannien nämner nyligen publicerade myndighetsriktlinjer explicit framtida mänskligt handlande (Environment Agency et al., 1997). Oavsiktliga och avsiktliga åtgärder definieras och det framhålls att avsiktliga handlingar inte kräver en kvantitativ riskbedömning. Riktlinjerna specificerar inte hur oavsiktlig framtida mänskligt handlande skall bedömas i en säkerhetsanalys. Visst preliminärt arbete har initierats för att undersöka tillämpningen av probabilistiska modeller, inklusive Markov-modeller, för mänskligt intrång.
- I USA finns det flera olika miljöföreskrifter som beaktar mänskligt handlande vid slutförvarsplatser:
 - Föreskrifter för Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) (EPA, 1993; 1996) ger detaljerade kriterier för bedömning av mänskliga handlingar, inklusive differentiering mellan avsiktliga och oavsiktliga handlingar, specifikationer av tidsskalor för aktiv och passiv institutionell övervakning samt bedömning av sådana, specifikation av typen av framtida intrång som skall beaktas (gruvbrytning och djupborrning), och riktlinjer kring sannolikhet och konsekvensbedömning av sådan verksamhet.

- De slutliga föreskrifterna för Yucca Mountain har ännu inte offentliggjorts, men specifika rekommendationer för det sätt på vilket framtida mänskligt handlande skall bedömas har redan getts av NAS (National Academy of Sciences) (NAS, 1995). Dessa rekommendationer innefattar ett principiellt intrångsscenario som består av ett borrhål genom en avfallsbehållare och ner i en underliggande vattenreservoar, samt att doser till borrhållare utesluts från bedömningen av långsiktiga risker.
- RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) och CERCLA (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act) (US Congress, 1976; 1980) tillåter en betydande grad av frihet vid bedömning av framtida mänsklig verksamhet och de sökande tillåts specificera särskilda typer av institutionell övervakning på fallspecifik basis.

I de följande sammanfattas kortfattat de olika myndighetsstrategierna som valts för att hantera de frågor som belysts i slutet av kapitel 2.

Institutionell övervakning

Alla föreskrifter diskuterar eventuellt bortfall av institutionell övervakning på en slutförvarsplats. I Frankrike och USA definierar föreskrifterna de maximala tider som övervakning kan förväntas fungera effektivt. Inga av dessa föreskrifter definierar en borte tidsgräns för bedömning av störande mänsklig verksamhet som skiljer sig från den som tillämpas för bedömning av naturliga händelser och processer.

Scenarioutveckling

De flesta myndigheter förordar specifikt någon typ av scenarioutvecklingsmetodik, som bör väljas av den sökande för att bedöma framtida mänskligt handlande vid slutförvar för radioaktivt avfall. Vissa av de föreskrifter som gäller i USA samt en del riktlinjer i USA och en del riktlinjer i Frankrike beskriver explicit de typer av mänskligt handlande som måste beaktas i olika analyser. Generellt gäller emellertid att föreskrifterna bara ger allmänna riktlinjer om de olika typer av mänskligt handlande som skall bedömas. I Frankrike, Schweiz och USA finns det specifika riktlinjer för användning av dagens sociala strukturer och tekniska möjligheter vid definition av potentiell framtida mänskligt handlande.

Oavsiktliga och avsiktliga mänskliga handlingar

I de senast publicerade föreskrifterna för slutförvaring av radioaktivt avfall görs en distinktion mellan avsiktligt och oavsiktligt intrång, med tillägget att endast oavsiktligt intrång behöver beaktas. Ingen distinktion görs mellan avsiktligt och oavsiktligt intrång i USA:s RCRA- och CERCLA-föreskrifter för icke-radioaktivt farligt avfall. Inga av föreskrifterna nämner specifikt safeguard-aspekten avseende kärnämnen (klyvbart material). De flesta föreskrifter understryker förutsättningen att slutförvarsanläggningarna inte skall kräva åtgärder från framtida generationer för att upprätthålla säkerheten och utesluter därför implicit återtagning av avfall som en möjlig orsak till framtida mänsklig handling.

Val av exponerade grupper

De flesta av föreskrifterna anger att principen med kritisk grupp eller potentiellt exponerade grupper skall tillämpas vid bedömning av doser eller risker. Vissa USA-föreskrifter specificerar maximal exponering för individen, men detta gäller för ostörda förhållanden (dvs. ifrånvaro av störande mänskliga ingrepp). Endast i USA-föreskrifterna finns det några specifika riktlinjer kring val av parametervärden (t ex borrhälsdiameter) för användning i sannolikhets- och konsekvensberäkningar.

Tabell 3.1 Sammanfattning av myndighetsbedömning av mänskligt handlande i samband med slutförvar för radioaktivt avfall

Denna tabell sammanfattar bedömningen av mänskliga handlingar i föreskrifterna som granskas i denna rapport (se bilaga A för närmare detaljer). De kategorier som används bygger på frågor som identifieras i kapitel 2 i rapporten och har följande omfattning:

- *Institutionell övervakning och tidsskalor för säkerhetsanalyser:* Finns det tidsgränser definierade som begränsar den period under vilken framtida mänskligt handlande måste beaktas?
- *Klassificering av mänskligt handlande:* Finns det en distinktion mellan pågående och framtida mänskligt handlande? Finns det en distinktion mellan globalt mänskligt handlande (som den sökande inte har någon kontroll över) och lokalt mänskligt handlande, som skulle kunna kontrolleras genom institutionell övervakning?
- *Avsiktligt och oavsiktligt framtida mänskligt handlande (FHA – Future Human Actions):* Skall medvetna åtgärder som genomförts med kunskap om platsen och den farliga naturen hos slutförvarsanläggningen beaktas vid bedömningen?
- *Potentiellt exponerade grupper:* För vilka befolkningsgrupper krävs dos- eller riskberäkningar?

Samtliga föreskrifter som studerats utesluter explicit bedömning med hänsyn till tänkbar samhällsutveckling.

Land: Myndighet	Varaktighet för institutionell övervakning och tidsskalor för säkerhetsanalyser	Klassificering av mänskligt handlande	Avsiktligt och oavsiktligt framtida mänskligt handlande (FHA)	Potentiellt exponerade grupper
Kanada: AECEB [1]	10 000-årsgräns för övergripande analys	Inga distinktioner görs.	Avsiktliga FHA behöver inte beaktas.	Exponering av människor som befinner sig i området där risken är störst måste beaktas.
Finland: STUK [2]	Inga tidsramar har specificerats för kvantitativa säkerhetsanalyser	Inga distinktioner görs.	Avsiktliga FHA behöver inte beaktas.	Specificeras ej.
Frankrike: DSIN [3]	Lägre tidsgräns på 500 år. Ingen övre tidsgräns.	Explicit distinktion av lokal och global mänsklig verksamhet.	Avsiktliga FHA behöver inte beaktas.	Borr- och gruvbrytningsscenarioer innefattar exponering av avfall för borrh- och gruvpersonal. Scenarier med brunnar och oförseglade borrhål innefattar kontaminering av vattenreservoarer och exponering via dricksvatten.
Schweiz: HSK/KSA [4]	Inga tidsramar har specificerats för kvantitativa säkerhetsanalyser.	Inga distinktioner görs.	Avsiktliga FHA behöver inte beaktas.	Specificeras ej.
Storbritannien: EA [5]	Inga tidsramar har specificerats för kvantitativa säkerhetsanalyser.	Inga distinktioner görs.	Avsiktliga FHA definieras men behöver inte beaktas.	Inverkan på potentiellt exponerade grupper skall baseras på tidigare och nuvarande mänskligt uppträdande.
USA (WIPP): EPA [6]	Maximigräns på 100 år för aktiv institutionell övervakning. Tilläggperiod på upp till 600 år för passiv övervakning. 10 000-årsgräns för övergripande demonstration av uppfyllande.	Pågående mänsklig verksamhet skall beaktas vid bedömning av funktion under ostörda förhållanden.	Avsiktliga FHA behöver inte beaktas.	Alla utsläpp till åtkomliga miljöer skall bedömas. Dosberäkningar för maximalt exponerade individer krävs för bedömning av funktion under ostörda förhållanden (innefattar pågående mänsklig verksamhet).

Tabell 3.1 (forts.) Sammanfattning av hantering av mänskliga ingrepp i föreskrifter för slutförvaring av radioaktivt avfall.

Land: Myndighet	Varaktighet för institutionell övervakning och tidskalor för säkerhetsanalyser	Klassificering av mänskligt handlande	Avsikligt och oavsikligt framtida mänskligt handlande (FHA)	Potentiellt exponerade grupper
USA (Yucca Mountain): EPA/NRC [7]	Föreskrifter under utveckling. NAS rekommenderar att framtida mänskligt handlande beaktas inom ramen för ett illustrativt intrångsscenario, vilket skall utvärderas separat från bedömning av ett slutförvars funktion under ostörda förhållanden.			
USA (andra miljöföreskrifter) [8]	Ej specificerat.	Ingen distinktion görs.	Ingen distinktion görs.	Ej specificerat. I CERCLA görs en distinktion mellan obefogad närvaro och intrång. Föreskrifterna gäller endast obefogad närvaro.

Referenser:

- [1] AECB, 1985; 1987a; 1987b
- [2] STUK, 1998
- [3] DSIN, 1992
- [4] HSK and KSA, 1993
- [5] Environment Agency et al., 1997
- [6] EPA, 1993; 1996; NRC, 1983
- [7] EPA, 1993; NRC, 1983
- [8] US Congress 1976; 1980

Tabell 3.1 (forts.) Sammanfattning av hantering av mänskliga ingrepp i föreskrifter för slutförvaring av radioaktivt avfall.

4 Bedömning av mänskliga handlingar i nyligen publicerade analyser

I detta kapitel ger vi en sammanfattning av bedömningen av mänskligt handlande i nyligen publicerade säkerhetsanalyser och stödjande studier kring geologiska djupa slutförvar för radioaktivt avfall i nio OECD-länder. Ytterligare detaljer om dessa säkerhetsanalyser och studier ges i bilaga B. Sammanfattningar ges här av de olika strategier som valts för att hantera de frågor som belyses i slutet av kapitel 2. Tabell 4.1 ger en översikt.

Vår genomgång av de nyligen publicerade säkerhetsanalyserna och stödjande studierna för djupa geologiska slutförvar påvisar olika sätt att bedöma mänskligt handlande:

- I Belgien innefattar analysen (av platsen Molutförd av SCK/CEN; Marivoet, 1994), pågående mänsklig verksamhet, såsom grundvattenuttag och stenbrytning, i det normala utvecklingsscenariot. Växthusgasberoende klimatförändringar innefattades i ett anpassat utvecklingsscenario, men inga konsekvensberäkningar gjordes. Andra anpassade utvecklingsscenarier gällde störande framtida mänskligt handlande som borrhning.
- I Kanada innefattade säkerhetsanalysen enligt AECL:s Environmental Impact Statement (EIS) (AECL, 1994a; 1994b) en probabilistisk konsekvensanalys av mänskligt handlande i beräkningar separata från säkerhetsanalytiska beräkningar för ostörda förhållanden (SYVAC-scenarier). Sannolikheten för framtida verksamhet, som borrhning, definierades genom expertbedömningar som bygger på händelseträd.
- I Finland har genomförts säkerhetsanalyserna TVO-92 och TILA-96 (Vieno et al., 1992; Vieno och Nordman, 1996), vilka inte definierar eller analyserar scenarier som innefattar mänskligt handlande, eftersom sådana scenarier bedömdes som omöjliga att bedöma kvantitativt. Man hävdade att de olika motåtgärder som skulle vidtas på slutförvarsplatsen skulle göra mänskligt intrång mycket osannolikt. Emellertid innefattade en tidigare finsk analys (Vieno et al., 1985) ett borrhscenario (TVO-85).
- I Nederländerna innefattade ECN:s säkerhetsanalys PROSA (Prij et al., 1993) en probabilistisk konsekvensanalys av flera framtida scenarier med borrhning, gruvbrytning och arkeologisk undersökning som tänkbart framtida mänskligt handlande. Emellertid bedömdes inte sannolikheten för dessa scenarier eftersom de betraktades som alltför osäkra för att kunna kvantifieras.
- I Spanien identifierar säkerhetsanalysen för en generell granitplats (ENRESA, 1997) ett alternativt scenario med borrhning av en brunn och modifiering av de hydrologiska förhållandena i närheten av slutförvaret. Direkt intrång i slutförvaret beaktades ej.
- I Sverige har SKB gjort en detaljerad analys och klassificering av möjlig mänsklig verksamhet som skulle kunna påverka ett slutförvar i negativ riktning (SR 95; SKB, 1995). Som ett exempel tilldelades sannolikheter för de olika scenarierna för att

kunna göra en bedömning av ett scenario med intrång i form av ett borrhål. SKB måste fortfarande implementera denna typ av analys inom ramen för en fullständig säkerhetsanalys. I SITE-94 gjorde SKI (1996) en scenarioutveckling, men genomförde inga konsekvensberäkningar för de tilläggsscenarioer som innefattar framtida mänskligt handlande. Det framtida mänskligt handlande som tillämpas för att definiera tilläggsscenarioerna innefattade borrhning och gruvbrytning, ytaktiviteter, insprutning av flytande avfall samt inverkan av gruvbrytning på hydrokemin.⁴

- I Schweiz utesluter säkerhetsanalysen Kristallin-I, NAGRA (1994), de flesta FEP med avseende på framtida mänsklig verksamhet, eftersom det förutsattes att miljön på stort geologiskt djup skulle isolera slutförvaret för de flesta framtida mänskliga handlingar. Det enda alternativscenariot som innefattar framtida mänskligt handlande var ett där en djup grundvattenbrunn borrar i närheten av slutförvaret.
- I Storbritannien har UK Nirex Limited ännu inte beaktat framtida mänskligt handlande inom ramen för en fullständig säkerhetsanalys, men har gett en beskrivning av hur en kvantitativ analys av framtida mänsklig verksamhet skulle kunna göras (Nirex, 1995; 1997). Analysen bygger i hög grad på frekvensen av tidigare borrhning och gruvbrytning för att förutsäga sannolikheten för framtida borrhning och gruvbrytning.
- För USA:s WIPP Compliance Certification Application (CCA) (DOE, 1996), fastställde myndighetskraven i stor utsträckning arbetssättet då det gällde mänskligt handlande i en säkerhetsanalys. En detaljerad probabilistisk bedömning gjordes av slutförvarets funktion under störda förhållanden, för att ta hänsyn till relevant framtida mänskligt handlande. Scenarierna som bedömdes innefattar gruvbrytning och djupborrning samt kombination av gruvbrytning och borrhning. Dessutom bedömdes ett stort antal pågående mänskliga handlingar i detalj för att fastställa deras möjliga inverkan på funktionen under ostörda förhållanden (inklusive gruvbrytning, borrhning, översvämning, uttag av naturresurser etc.). Den detaljerade analysen av mänskligt handlande återspeglar förhållandet att WIPP ligger i ett naturresursrikt område.
- Ännu så länge har inte någon större möda lagts ner på att utveckla eller modellera scenarier för mänskligt handlande vid Yucca Mountain i USA. Wilson et al. (1994) analyserade effekterna av borrhning genom en avfallsbehållare eller omgivande berg samt transport av kontaminerat material till ytan. Senare genomförda analyser (TRW, 1995; EPRI, 1996) har inte beaktat framtida mänskligt handlande.

De följande sammanfattningarna är korta uttalanden om de olika arbetssätt som har valts för bedömning av de frågor som nämnts i slutet av kapitel 2.

4 I Project-90 (SKI, 1992) genomfördes bl.a. analys av slutförvar som övergivits innan förslutning. En diskussion förs även av möjligheterna att med logiska argument motivera varför analys av framtida intrång inte skulle behövas.

Institutionell övervakning

Den maximala period under vilken institutionell övervakning kan förväntas vara effektiv har satts till 500 år. Vid analysen av platsen WIPP antas passiv institutionell kontroll minska men inte eliminera risken för intrång under en period på 600 år efter avslutad aktiv institutionell övervakning (100 år efter förslutning). I säkerhetsanalyser som beräknar potentiella doser antas intrång ske så snart övervakningen upphör att fungera. Analyser som beräknar risker tillämpar vanligtvis en viss sannolikhet för intrång (baserat på borrningsfrekvens) i syfte att fastställa tiden för intrång. Varje simulering eller beräkningsuppsättning baserades på en specifik tid för intrång.

Scenarioutveckling

Många säkerhetsanalyser har tillämpat ett systematiskt arbetssätt för att utveckla scenarier för framtida mänskligt handlande. Detta innefattar framtagning av en fullständig lista över potentiellt relevanta FEP, urval från denna lista i enlighet med definierade kriterier och uppdelning av utvalda FEP på ett eller flera scenarier. Ett vanligt arbetssätt har varit att definiera ett scenario för ostörd funktion som innefattar alla FEP vars sannolikhet för inträffande är lika med ett. Pågående mänskliga ingrepp, om sådana beaktas, ingår vanligtvis i scenariot med ostörd funktion. Alternativa scenarier definieras genom att komplettera med FEP som har lägre sannolikhet. Framtida mänskligt handlande klassificeras normalt som FEP med låg sannolikhet och ingår därför, om de alls tas med, i alternativa scenarier istället för i scenariot med ostörd funktion. De vanligaste scenarier som innefattar framtida mänskligt handlande som beaktas i studerade säkerhetsanalyser innefattar borrnig (exempelvis av vattenbrunnar) och gruvbrytning. Emellertid befinner sig många säkerhetsanalysprogram fortfarande på ett tidigt stadium vad beträffar identifiering av scenarier. Alla säkerhetsanalyser tillämpar dagens sociala strukturer och högst dagens tekniska nivå som bas för scenarioutveckling och för analys av konsekvenserna av framtida mänskligt handlande.

Tre analyser (SITE-94, SR 95 och WIPP) skiljer mellan mänsklig verksamhet som har direkt inverkan på slutförvaret och verksamhet som har indirekt inverkan. I WIPP-analysen ingår pågående mänsklig verksamhet i bedömningen av funktion under ostörda förhållanden (dvs. utan störning av slutförvaret) liksom i kombination med potentiellt framtida mänskligt handlande i beräkningar av funktion under störda förhållanden. SITE-94 innefattar ett tilläggsscenario som karakteriseras av ett varmare och fuktigare klimat (växthuseffekt) än huvudscenariot. SR 95 diskuterar indirekta effekter som uppvärmning på grund av växthusgas, men de ingår inte i någon av de illustrerande beräkningar som faktiskt genomförts. SCK/CEN identifierade en möjlighet att effekten skulle kunna påverka grundvattensystemet och därmed slutförvarets funktion, men genomförde inga beräkningar. Inga säkerhetsanalyser har ännu publicerats i Frankrike, men lagen kräver att inverkan av klimatförändringar på grund av växthuseffekten skall beaktas.

Oavsiktliga och avsiktliga mänskliga ingrepp

Alla tidigare säkerhetsanalyser har uteslutit avsiktligt intrång från analysen av framtida mänskligt handlande. Endast analysen WIPP har diskuterat frågan om återtagbarhet (DOE, 1996; Appendix WRAC). Emellertid ligger denna diskussion inom ramen för slutförvarets konstruktion snarare än dess funktion efter förslutning. Ingen av de granskade säkerhets-

analyserna diskuterar övervakning efter förslutning ur safeguard-synpunkt, även om detta är aktuellt för andra aspekter på en säkerhetsredovisning (t ex DOE, 1996, Appendix MON).

Val av exponerade grupper

Alla analyserna definierar kritiska grupper eller potentiellt exponerade grupper vid beräkning av doser och risker. Många analyser, inklusive de som genomförts av AECL, TVO, SKB, SCK/CEN och Nirex, har också beräknat (eller föreslagit att beräkna) doser till medlemmar i borrarlag. AECL, Nirex och Yucca Mountain-projektet har alla beaktat spridningen av kontaminerat material i samband med intrång och efterföljande upptagning via näringskedjan. AECL-, Nirex-, NAGRA- och WIPP-projekten tar alla hänsyn till bildandet av nya transportvägar och kortslutning av några av de tekniska och naturliga barriärerna.

Tabell 4.1 Sammanfattning av analyser av mänskligt handlande i samband med slutförvar för radioaktivt avfall

Denna tabell sammanfattar bedömningen av framtida mänskligt handlande i analyser som granskats i denna rapport (se bilaga B för ytterligare detaljer). De tillämpade kategorierna är baserade på de frågor som identifieras i kapitel 2 i rapporten och har följande omfattning:

- Institutionell övervakning och tidsskala för analyser: Vilken period tillämpas vid beaktande av mänskliga ingrepp?
- Klassificering av mänskliga ingrepp: Görs en distinktion mellan pågående och framtida mänskligt handlande? Görs en distinktion mellan globalt mänskligt handlande (som den sökande inte har någon kontroll över) och lokalt mänskligt handlande som kan påverkas genom institutionell övervakning?
- Potentiellt exponerade grupper: För vilka befolkningsgrupper har dos- eller riskberäkningar utförts?

Inga av de granskade analyserna beaktar avsiktliga mänskliga ingrepp eller gör något försök att bedöma samhällets möjliga utveckling.

Land: Organisation: Analys	Varaktighet för institutionell övervakning och tidsskala för analyser	Klassificering av mänskliga ingrepp	Potentiellt exponerade grupper
Myndigheters analyser			
Sverige: SKI: SITE-94 [1]	Inga gränser specificerade för FHA. Den övergripande analysen gäller för 1 miljon år.	Pågående användning av grundvatten (brunnar) i "centralscenariot". Scenario med varmare och fuktigare klimat än huvudscenariot (globalt). I andra scenarier ingår borrning, gruvsdrift, uttag av grundvatten, insprutning av flytande avfall i schakt eller sprickor och mänsklig aktivitet på ytan (allt lokalt).	Förbrukare av grundvatten i centralscenariot. Inga exponerade grupper definieras för andra scenarier.
Sökandes analyser			
Belgien: SCK/CEN: Mol [2]	Inga gränser specificerade för FHA. Den övergripande analysen gäller för 150 000 år.	Bland pågående aktiviteter nämns grundvattenuttag och stenbrytning. Andra scenarier nämner uppvärmning på grund av växthuseffekten (inga be-räkningar) samt borrning.	Konsumtion av grundvatten från grundvattenreservoarer. Undersökning av radioaktiva borrhärnor.
Kanada: AECL: EIS [3]	Inga gränser specificerade för FHA. Den övergripande kvantitativa analysen gäller för 10 000 år.	Pågående användning av grundvatten (brunnar) i scenariot med ostörd funktion. Framtida mänskligt handlande innefattar borrning genom slutförvaret.	Konsumtion av grundvatten. Exponering av borrhärnor, laboratorietechniker (borrning) och byggnadsarbetare, boende (husbyggnad på upplag av brutet material).
Finland: TVO/POSIVA: TVO-85, TVO-92, TILA-96 [4]	Inga gränser specificerade för FHA, men oavsiktliga mänskliga intrång betraktas som mycket osannolika då platsen för slutförvaret väljs i ett område med låg ekonomisk potential. Den övergripande analysen gäller för 1 miljon år.	Pågående användning av grundvatten. Framtida borrning i TVO-85.	Konsumtion av grundvatten. TVO-85 beaktar även exponering av borrhärnor.

Land: Organisation: Analys	Varaktighet för institutionell övervakning och tidsskala för analyser	Klassificering av mänskliga ingrepp	Potentiellt exponerade grupper
Nederländerna: ECN: VEOS, PROSA [5]	Antagande att inget FHA inträffar inom 250 år efter förslutning. Den övergripande analysen gäller för 20 miljoner år.	Pågående användning av grundvatten. Framtida borrhning och gruvbrytning.	Konsumtion av grundvatten. Olika exponerade grupper i samband med borrhning och gruvbrytning.
Spanien: ENRESA: ENRESA, 1997 [6]	Inga gränser specificerade för FHA. Den övergripande analysen gäller för 1 miljon år.	Pågående användning av grundvatten. Framtida borrhning av brunn som påverkar de hydrologiska förhållandena kring slutförvaret.	Konsumtion av grundvatten.
Sverige: SKB: SR-95 [7]	Inga gränser specificerade för FHA. Den övergripande analysen gäller för 10 miljoner år.	Pågående användning av grundvatten. Global uppvärmning kan påverka förhållanden i geosfären och biosfären. Framtida borrhning.	Konsumtion av grundvatten. Exponering av borrhpersonal.
Schweiz: NAGRA: Kristallin-1 [8]	Inga gränser specificerade för FHA. Den övergripande analysen gäller för 10 miljoner år.	Pågående användning av grundvatten. Framtida djupborrhning av brunn.	Konsumtion av grundvatten.
Storbritannien: Nirex: Sellafield [9]	Inga gränser specificerade för FHA. Den övergripande analysen gäller för 100 miljoner år.	Pågående användning av grundvatten. Borrhning och brunnsöppnande diskuteras i stödjande litteratur.	Konsumtion av grundvatten. Exponering av borrhpersonal föreslaget.
USA: DOE: WIPP CCA [10]	Maximal gräns på 100 år för aktiv institutionell övervakning. Ett område mellan 100-700 år för passiv övervakning. Den övergripande analysen gäller för 10 000 år.	Pågående mänsklig verksamhet, inklusive borrhning och gruvbrytning utanför det övervakade området betraktas i scenariot med ostörd funktion. Gruvbrytning och djupborrhning inom det övervakade området betraktas i scenariot med störd funktion.	Inga utsläpp till ytan vid funktion under ostörda förhållanden. Illustrativa dosberäkningar för emission i dricksvatten. Kumulativa utsläpp till åtkomlig miljö beräknad för kombinerade effekter av gruvbrytning och borrhning.

USA: DOE: Yucca Mountain [11]	Inga gränser specificerade för FHA. Den övergripande analysen gäller för 10 000 år.	Pågående användning av grundvatten. Framtida borrhning med penetrering av slutförvaret i Wilson et al. (1994). FHA-scenarier beaktas inte i TRW (1995).	Konsumtion av grundvatten. Exponering av boende för material som förts upp till ytan genom borrhning.
USA: EPRI: Yucca Mountain [12]	Inga gränser specificerade för FHA. Den övergripande analysen gäller för 10 000 år.	Pågående användning av grundvatten.	Konsumtion av grundvatten.

Referenser:

- [1] SKI, 1996
- [2] Marivoet, 1994
- [3] AECL, 1994a; 1994b
- [4] Vieno et al., 1985; Vieno et al., 1992; Vieno och Nordman, 1996
- [5] Prij et al., 1987; Prij et al., 1993
- [6] ENRESA, 1997
- [7] SKB, 1995
- [8] NAGRA, 1994
- [9] Nirex, 1995; 1997
- [10] DOE, 1996
- [11] Wilson et al., 1994; TRW, 1995
- [12] EPRI, 1996

5 Synpunkter och frågeställningar som diskuteras internationellt

I detta kapitel ger vi korta sammanfattningar av ett antal internationella verksamheter som är relevanta för bedömning av framtida mänskligt handlande i säkerhetsanalyser. I avsnitt 5.1 sammanfattar vi de aktiviteter som bedrivits av två arbetsgrupper med avseende på framtida mänskligt handlande och som etablerats av NEA (Nuclear Energy Agency – Kärnenergibyrån) inom OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development – Internationella samarbetsorganisationen för ekonomisk utveckling). I avsnitt 5.2 sammanfattar vi en NEA-workshop och en kollektiv åsikt kring ”Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal” (Miljömässiga och etiska grunder för geologiska slutförvaring). I avsnitt 5.3 diskuterar vi tre initiativ som startas av IAEA som gäller behandling av framtida mänskligt handlande i säkerhetsanalyser.

5.1 NEA-arbetsgrupper

5.1.1 Arbetsgruppen för bedömning av framtida mänskligt handlande

1991 etablerade NEA:s grupp PAAG (Performance Assessment Advisory Group) en arbetsgrupp över frågan ”Assessment of Future Human Actions at Radioactive Waste Disposal Sites” (Bedömning av framtida mänskligt handlande vid platser för slutförvaring av radioaktivt avfall). SKI deltog i denna arbetsgrupp, vilken avslutade sin verksamhet i slutet av 1993. Slutrapporten publicerades av NEA 1995 (NEA, 1995a).

De huvudsakliga slutsatserna från arbetsgruppen var följande:

- Den mest effektiva motåtgärden mot oavsiktliga störande ingrepp är aktiv institutionell övervakning av ytan ovanför och på ett visst avstånd från slutförvaret. Emellertid kan man inte förlita sig på institutionell övervakning under lika lång tid som avfallet utgör en potentiell fara.
- Analysen av mänskliga ingrepp kan endast bli illustrativ och aldrig komplett. Alla scenarier kring framtida mänskligt handlande måste betraktas som en belysning av tänkbara händelseförlopp, som i sin tur baseras på en uppsättning antaganden.
- Platsspecifika scenarier för framtida mänskligt handlande skulle kunna baseras på förutsättningen att framtida samhällens handlings sätt motsvarar dagens handlings sätt vid slutförvarsplatsen i fråga.
- Avsiktliga störande mänskliga ingrepp bör inte beaktas i säkerhetsanalyser.

Arbetsgruppen identifierade även ett antal internationella initiativ som skulle kunna genomföras för att skapa förtroende för säkerhetsanalyser. Dessa rekommendationer och verksamheterna som genomförts som resultat av dessa innefattar följande:

- Ytterligare diskussion bör uppmuntras mellan de aktuella länderna med avseende på myndighetsprinciper för bedömning av de risker som är kopplade till framtida mänskligt handlande. NEA har därefter etablerat en andra arbetsgrupp med avseende på myndighetsaspekter (se avsnitt 5.1.2).
- En internationellt granskad databas över FEP (Features, Events and Processes) som skulle kunna användas för säkerhetsanalyser skulle bidra till att bygga upp förtroende för omfattningen hos nationella platsspecifika analysprogram. NEA har därför etablerat en FEP-arbetsgrupp som har utvecklat en internationell lista över FEP och en databas för att jämföra denna med listor som utvecklats inom ramen för nationella projekt (NEA, 1998).
- Ett internationellt arkiv över slutförvar för radioaktivt avfall skulle kunna utvecklas för att bevara informationen på olika samhällliga nivåer och platser och bidra till att administrativa kunskaper om dessa slutförvar inte går förlorad. Ett initiativ från IAEA i syfte att ge ledning om ett sådant arkiveringssystem beskrivs i 5.3.3.
- Utveckling av ett system med markörer. Ett internationellt system med markörer skulle hjälpa samhället att behålla medvetenheten om symbolernas betydelse och garantera att så snart betydelsen av dessa markörer har förståtts i en del av världen kommer förståelsen och betydelsen av liknande markörer som upptäcks på andra platser att underlättas.
- Utveckling och tillämpning på försök av en uppsättning principer för uppbyggnad av scenarier för mänskligt handlande. Scenarier skulle kunna utvecklas med hjälp av platsspecifik information, baserad på ett internationellt överenskommet arbetssätt.

Sistnämnda två rekommendationer återstår ännu att genomföra.

5.1.2 Arbetsgruppen för myndighetsaspekter avseende framtida mänskligt handlande

Som uppföljning av arbetet som utförts av den första arbetsgruppen har NEA etablerat en ny arbetsgrupp 1994. Den skall behandla "Regulatory Aspects of Future Human Actions at Radioactive Waste Disposal Sites" (Myndighetsaspekter avseende framtida mänskligt handlande vid slutförvar för radioaktivt avfall). Gruppen arbetade under 1995. Huvudslutsatserna från denna arbetsgrupp var följande:

- Framtida mänskligt handlande skall beaktas vid prövning.
- Beaktandet skall vara tydligt skilt från alternativet funktion under ostörda förhållanden ("normal utveckling").
- Konsekvenserna av framtida mänskligt handlande skall bedömas.

- Sannolikheterna för framtida mänskligt handlande skall framför allt diskuteras i kvalitativa termer.
- Platser skall inte diskvalificeras under prövningsprocessen endast utgående från bedömningar av framtida mänskligt handlande, om det kan bevisas att framtida mänskligt handlande har beaktats på ett adekvat sätt vid lokalisering och konstruktion av slutförvar (t.ex. med hänsyn till naturresurser).

Arbetsgruppen ansåg att det inte gick att nå ytterligare samsyn (consensus), förutom det som uttrycktes vid de två mötena för arbetsgruppen. Därför fanns det ingen önskan att försäkra sig om internationellt samsyn på myndighetsnivå kring frågor som effektiviteten för institutionell övervakning i säkerhetsanalyser. Arbetsgruppen ansåg att ytterligare arbete, exempelvis då det gäller metodik för att utveckla scenarier för framtida mänskligt handlande, eller för att fastställa konsekvenser och sannolikheter för sådana scenarier, skulle kunna hanteras bättre inom det bredare perspektiv som representeras av PAAG. Arbetsgruppen upplöses därför efter två möten, men inga uppföljningsaktiviteter har ännu initieras av NEA.

5.2 Miljömässiga och etiska grundförutsättningar för djupa geologiska slutförvar

Som en del av sin kontinuerliga granskning av den allmänna situationen inom området hantering av radioaktivt avfall organiserade NEA 1994 en workshop kring miljömässiga och etiska aspekter på slutförvaring av långlivat radioaktivt avfall (NEA, 1995c). Baserat på det presenterade materialet som diskuterades vid workshopen publicerade NEA en kollektiv åsikt ("Collective Opinion") i samma ämne (NEA, 1995b).

Den kollektiva åsikten fokuserade på två aspekter:

- Rättvisa *mellan* generationerna, med avseende på dagens generationers ansvar för att inte lämna potentiella risker och bördor till framtida generationer.
- Rättvisa *inom* generationerna med avseende på balans vid fördelning av resurser och engagemang från olika delar av dagens samhälle i en rättvis och öppen beslutsprocess.

Den kollektiva åsikten är att principerna för rättvisa mellan och inom generationerna måste tas i beaktande vid bedömningen av huruvida strategierna för långsiktig hantering av radioaktivt avfall är acceptabla.

Med avseende på rättvisa mellan generationer är två principer relevanta för bedömning av framtida mänskligt handlande i säkerhetsanalyser:

- Avfall skall hanteras på ett sådant sätt att en acceptabel skyddsnivå för människors hälsa och för miljön kan garanteras. Skyddet skall vara sådant att det ger framtida generationer minst samma skyddsnivå som betraktas som acceptabel idag.

- En avfallshanteringsstrategi får inte baseras på antagandet om en stabil samhällelig struktur under en odefinierad framtid, och inte heller på förväntade tekniska framsteg. Istället skall strategin inriktas på att skapa en passivt säker situation som inte bygger på aktiv institutionell övervakning.

5.3 IAEA-initiativ

Tre nyligen publicerade skrifter från IAEA har beaktat frågor med avseende på hantering av framtida mänskligt handlande i säkerhetsanalyser. Två av dessa skrifter har tagits fram av en grupp som har arbetat med ”Principer och kriterier för slutförvaring av radioaktivt avfall”, etablerad inom ramen för INWAC (International Radioactive Waste Management Advisory Committee). Ämnen med relevans för hantering av framtida mänskligt handlande innefattar även användning av olika säkerhetsindikatorer (avsnitt 5.3.1) och etablering av safeguard-åtgärder för använt kärnbränsle (avsnitt 5.3.2). Den tredje skriften, som ännu så länge befinner sig på remisstadiet, diskuterar arbete som genomförts på arkivsidan (avsnitt 5.3.3).

5.3.1 Säkerhetsindikatorer inom olika tidsramar

Den första rapporten inom undergruppen ”Principer och kriterier för slutförvaring av radioaktivt avfall” (IAEA, 1994) behandlar problemet att etablera lämpliga säkerhetsindikatorer för slutförvaring med tanke på den ökande osäkerhet med avseende på resultaten av säkerhetsanalyser över tiden. Rapporten delar in säkerhetsanalyser efter förslutning i tre tidsområden: från slutförvarets förslutning och 10 000 år framåt, från 10 000 till 1 miljon år framåt och perioden efter 1 miljon år.

Under den första perioden, från slutförvarets förslutning och 10 000 år framåt, rekommenderar rapporten att den framtida tekniska nivån skall antas vara minst ekvivalent med dagens vid bedömning av framtida mänskligt handlande. Detta antagande kan betraktas som en kompromiss mellan antagandet av en lägre teknisk nivå (som skulle göra det mindre sannolikt att intrång skulle vara tekniskt möjligt) och en förbättrad teknik (som skulle göra det mera sannolikt att arkiverad information kan bibehållas och att det skulle bestå en medvetenhet om de risker som är förknippade med slutförvar för radioaktivt avfall). Rapporten konstaterar även att det är rimligt att beakta förändrade klimatförhållanden, men då ska referensbiosfärer användas som ett sätt att minska graden av spekulation kring den exakta naturen hos framtida miljöer. Det konstaterades att oavsiktligt intrång i ett slutförvar skulle kunna ske och att sannolikheten bör minskas så mycket som möjligt genom val av lämpliga platser och lämpliga konstruktioner för slutförvar.

För den andra perioden, från 10 000 till 1 miljon år, rekommenderar rapporten att bedömningsberäkningar med avseende på det ytnära området och mänsklig verksamhet skall förenklas genom att förutsätta samhällen av idag och förhållanden av idag. Beräkningarna skall betraktas som illustrativa och doserna som indikativa. Användning av referensbiosfärer rekommenderas även i detta fall.

Rapporten kommer till slutsatsen att varken kvantitativa eller kvalitativa, bedömningar av perioden bortom 1 miljon skulle ge något värdefullt bidrag till beslutsprocessen.

5.3.2 Frågor kring slutförvaring av radioaktivt avfall

Den andra rapporten i undergruppen, "Principer och kriterier för slutförvaring av radioaktivt avfall"- (IAEA, 1996b) behandlar tre ämnen. Samtliga är relaterade till de långa tidsperioder som måste beaktas vid säkerhetsanalyser av slutförvar för radioaktivt avfall. De tre ämnesområdena är övervakning efter förslutning och allmänhetens förtroende, optimering samt safeguard-åtgärder för kärnämne (klyvbart material). Safeguard-frågor är av särskild vikt för bedömningen av framtida mänskligt handlande vid slutförvar. Kärnämnen bevakas inom ramen för safeguard-åtgärder i de flesta steg av kärnbränslecykeln i syfte att förhindra att det kommer till användning för att tillverka kärnvapen. Rapporten konstaterar att det kan vara nödvändigt med safeguard-åtgärder för använt kärnbränsle även efter att det har deponerats i ett djupt geologiskt slutförvar. Rapporten undersöker möjliga safeguard-krav och diskuterar i vilken grad sådana skulle förbättra eller försämra säkerheten vid slutförvarsanläggningar. Ingen specifik tidsskala anges för safeguard-åtgärderna, men IAEA tillåter avslutning av safeguard-verksamheten efter att kärnämnen har blivit "i praktiken oåtertagbara". Denna term återstår att definiera entydigt för myndighetsändamål.

Rapporten identifierar två viktiga frågor med avseende på en möjlig konflikt mellan safeguard-krav och slutförvarets funktioner:

- Hur kan en effektiv safeguard-procedur utvecklas utan att detta får negativ inverkan på säkerheten vid slutförvaret?
- Hur länge skall safeguard-åtgärderna gälla, med tanke på att använt kärnbränsle under tusentals år utgör en potentiell källa för material till kärnvapenproduktion?

Rapporten anser att slutförvaren skall stå under safeguard-övervakning genom icke inträngande övervakningsmekanismer, t ex satellitobservation, som skulle göra det möjligt att övervaka slutförvarsplatsen periodiskt. Sådan övervakning skulle minska sannolikheten för framtida mänskligt intrång eftersom de mest sannolika intrångsmetoderna (borrning, gruvbrytning) enkelt skulle kunna observeras. Varaktigheten för sådana safeguard-åtgärder måste fastställas av framtida generationer och beror på samhällets framtida utveckling. Det är möjligt att safeguard-åtgärder för kärnämnen kommer att ha hög prioritet under ytterligare hundratals eller tusentals år. Rapporten konstaterar att kraven på övervakning under icke definierad tid står i motsättning till de etiska aspekterna på slutförvaring av radioaktivt avfall därigenom att kraven lägger en börda på framtida generationer och dessutom skulle medföra kostnader som inte kan uppskattas på ett tillförlitligt sätt.

5.3.3 Underhåll av arkiv över slutförvar för radioaktivt avfall

IAEA håller på närvarande på att avsluta en rapport om underhåll av arkiv över slutförvar för radioaktivt avfall (IAEA, 1999). Syftet med rapporten är att ge tekniska riktlinjer om etablering av ett arkiveringssystem som garanterar tillgänglighet och bevarande av informa-

tion med avseende på förvar för radioaktivt avfall efter förslutning. Följande viktiga konstateranden har gjorts:

- Bevarande av information om djupa geologiska slutförvar har till syfte att tillåta framtida generationer att fatta välgrundade beslut om avsiktliga åtgärder.
- Informationen kan komma att bli mer svårförstålig efterhand som samhället utvecklas. Därför skall data som bevaras i arkiv ha en koncis form och endast innehålla väsentlig information.
- Bevarande av information bortom varaktigheten för aktiv institutionell övervakning kräver etablering och underhåll av ett arkivsystem. Information som genereras under fasen av aktiv institutionell övervakning, som övervaknings- och anläggningsunderhållsdata, skall läggas till den arkiverade informationen.

6 Nyckelkomponenter i en myndighetsstrategi

En myndighetsstrategi för bedömning av mänskligt handlande i säkerhetsredovisningar om slutförvar för radioaktivt avfall gör det nödvändigt att beakta aspekter utöver enkla vetenskapliga och tekniska frågor. Framför allt måste stor vikt fästas vid samhällsliga frågor, allmänhetens uppfattning, omfattningen av föreskrifter för annan verksamhet, kostnads/nyttaanalyser och internationell praxis. På grund av denna breda omfattning är det lämpligt att varje myndighetsstrategi tar hänsyn till åsikterna från många olika intressenter, inklusive, *inter alia*, tillståndshavare, lokala invånare och miljögrupper (Högberg, 1998). Dessa åsikter kan samlas in med hjälp av brett upplagda samråd, exempelvis i form av möten och/eller en period för offentlig utställning och remissförfarande kring ett förslag till myndighetsstrategi. I de följande avsnitten kommer vi tillbaka till de frågor som togs upp i kapitel 2 och ger provisoriska förslag till nyckelkomponenter i en myndighetsstrategi som är baserad på möjliga resultat av sådana samråd.

6.1 Institutionell övervakning

6.1.1 Typer av övervakning

Institutionell övervakning kommer sannolikt att vara en viktig komponent i bedömningar av ytnära slutförvar och sådan övervakning kommer att vara effektivast under perioden omedelbart efter förslutning, när avfallet är som farligast. I fall av djupa slutförvar är det extremt osannolikt att radionuklider når biosfären tidigare än långt efter den period då institutionell övervakning kan antas vara effektiv.

Det viktigaste antagandet som måste göras i samband med institutionell övervakning är valet av den period under vilken sådan övervakning kan antas förebygga *varje* typ av störande mänskliga ingrepp. Det kan generellt förmodas att den enda typ av övervakning som skulle kunna vara totalt effektiv i detta avseende är "aktiv" övervakning, som innebär kontinuerlig närvaro på platsen, antingen i form av kontinuerlig patrullering med hjälp av vakter, eller genom periodisk patrullering och underhåll av avspärningar. Andra övervakningsåtgärder, vanligen kallade "passiva", som förutsätter antingen förståelse av meddelanden eller markörer på platsen, eller bevarande av information (t.ex. på kartor) med avseende på ägarskap och ansvar, kan inte betraktas som fullständigt effektiva, även om de kan minska sannolikheten för störande ingrepp eller förlänga perioden innan intrång inträffar.

Hanteringen av avspärningar, skyltar, vakter, periodisk patrullering och annan övervakning innebär kontinuerliga kostnader som måste bestridas av anläggningsägaren eller av andra organisationer som tar ansvar för anläggningen. Markörer och arkiv drar däremot betydligt mindre kostnader när de en gång etablerats.

Den period under vilken markörer kan antas vara effektiva beror på varaktigheten hos enskilda organisationer och på stabiliteten hos det samhälle inom vilket sådana organisationer verkar. Antagande av ett stabilt samhället ligger alltså implicit i varje antagande som innefattar sökande av information om ägarskapet till en plats. Markörer och arkiv kan i viss mån

antas vara effektiva även om det har förekommit förändringar i samhället. Under sådana förhållanden kan emellertid markörer och arkiv även uppmuntra till intrång genom att visa på existensen av en anläggning med ett bortglömt och osäkert syfte.

6.1.2 Effektivitet hos övervakning

Effektiviteten hos institutionell övervakning beror på samhällliga faktorer som skulle kunna antas vara i stort sett liknande i alla utvecklade länder som har tillgång till kärnkraft och som driver program för hantering av kärnavfall. Det skulle vara önskvärt med en internationell samsyn bland dessa länder om effektiviteten hos sådana kontrollåtgärder, men det är kanske osannolikt att en sådan samsyn skulle komma till stånd med tanke på att de olika länderna i sina tillämpliga föreskrifter redan har etablerat klart skilda perioder under vilka sådana åtgärders får antas vara effektiva (se kapitel 3).

På grund av de samhällliga faktorerna som är involverade och bristen på internationell samsyn rekommenderas att myndigheterna samråder på bred basis inom samhället kring den sannolika effektiviteten för övervakning. Detta skall genomföras i form av en bred debatt som tar hänsyn till, *inter alia*:

- Möjligheten för lokala samhällen och för samhället som helhet att upprätthålla intresset för och kontrollen över ett förslutet slutförvar.
- De möjliga rollerna för den nationella regeringen och för regionala och lokala beslutsfattare i att bedriva planerad övervakningsverksamhet, samt internationella organisationers roll i sammanhanget.
- Typer av markörer och arkivering som lämpar sig för de möjliga slutförvarsplatserna.
- Existerande planeringsföreskrifter och eventuella krav på övervakning efter stängning av andra farliga anläggningar, inklusive kärnkraftverk och anläggningar för farligt avfall.

En möjlig slutsats av debatten, baserat på antagandet att samhället som helhet är stabilare än individuella organisationer, är att ansvaret för att upprätthålla kontroll över slutförvarsplatser skall övergå från den sökande till en myndighet under en viss tid efter förslutning, i syfte att förlänga den tid som det finns kunskap om platsen. Olika perioder med effektiv kontroll kan komma att rekommenderas beroende på omfattningen av och komplexiteten för den kontrollverksamhet som etablerats, och beroende på vilken organisation som åtar sig ansvaret. Den längsta perioden för effektiv institutionell övervakning kommer sannolikt att vara den som kräver störst investeringar sett till verksamhet på platsen, markörer och arkivering. Myndighetsriktlinjer, utgående från samrådsverksamheten, skulle kunna eliminera behovet av att den sökande motiverar effektiviteten för sådan kontrollverksamhet. Emellertid förblir den sökande ansvarig för att ta fram detaljer i säkerhetsredovisningen av övervakningsåtgärderna som skall användas, samt att finansiering arrangeras för detta övervakningsarbete.

Om den allmänna debatten kommer fram till att inga övervakningsåtgärder skulle vara nödvändiga för att förebygga intrång kan myndigheterna ändå förespråka en viss minimal grad av institutionell övervakning, framför allt i form av en förlängd period av platsunderhåll och övervakning. Ytterligare debatt behövs kring effektiviteten hos markörer innan sådana kan rekommenderas som ett övervakningskrav. Framför allt är det viktigt att diskutera om sådana markörer skulle kunna tänkas uppmuntra till intrång från individer eller samhällen som inte kan tyda deras mening. Liknande farhågor om möjligheten att locka till undersökningar kan riktas mot markering av platsen för slutförvar på kartor och i arkiv. Detta är dock omöjligt att förhindra, eftersom platsen kommer att vara väl känd och dokumenterad under driftsperioden och den aktiva underhållsperioden. Det är då orimligt att anta att informationen om lokaliseringen av en så intressant anläggning kommer att gå förlorad, även om kunskapen om radioaktivt avfall går förlorad. Det är därför rimligt för myndigheten att ge riktlinjer om form och innehåll för arkiverat material i syfte att öka möjligheterna för framtida generationer att inse den farliga naturen hos platsen i fråga. Underlaget för sådana riktlinjer har redan etablerats i studien om bevarande och sökning av information om slutförvar för radioaktivt avfall, som genomförts av NKS (Nordisk kärnsäkerhetsforskning) (Jensen, 1993) och av IAEA (se avsnitt 5.3.3).

Föreskrifter i USA (EPA, 1993) ger utrymme för en period efter den effektiva aktiva institutionella övervakningen, när passiv övervakning kan antas minska men inte eliminera risken för störande mänsklig verksamhet. Svårigheterna med att definiera varaktigheten för denna period och graden av skydd är ännu större än de som har att göra med att definiera perioden för effektiv aktiv övervakning. I väntan på resultaten från samråd med allmänheten i denna fråga, eller förslag som lagts fram av den sökande, bör myndigheten överväga ett enkelt tvåstegs arbetssätt i form av en period när störande ingrepp förebyggs genom en kombination av aktiva och passiva övervakningsåtgärder som följs av en längre period när det inte förekommer någon övervakning av verksamheten på platsen.

Myndigheten bör också kräva att analyser som beaktar framtida mänskligt handlande (se nedan) skall göra antagandet att passiv övervakning inte har någon verkan som ett värsta fall. Den sökande bör dock tillåtas argumentera för period med begränsad övervakning, och myndigheternas riktlinjer skall vara sådana att de inte omotiverat utesluter annat än antaganden om värsta fall. Detta arbetssätt borde uppmuntra den sökande att utveckla de bästa förutsättningarna för övervaknings, samtidigt som det garanterar att säkerhetsredovisningen inte uteslutande bygger på optimistiska antaganden om övervakningsåtgärdernas effektivitet.

6.2 Omfattning av säkerhetsredovisningen

Oberoende av vilken period som antas för en effektiv övervakning måste man anta att störande mänskliga ingrepp kommer att ske vid platsen vid någon (okänd) tid i framtiden, och med okänd sannolikhet. Varje samråd med allmänheten som handlar om effektiviteten för övervakningsåtgärder måste även beakta det sätt på vilket potentiellt störande mänskliga ingrepp skall hanteras i en säkerhetsredovisning.

Det finns många skäl som kan tala mot en detaljerad bedömning av potentiella störande mänskliga ingrepp i en säkerhetsredovisning om slutförvar för radioaktivt avfall, förutom för att visa att ett rimligt mått av övervakning kommer att leda till att sådan verksamhet avvärjs. Till exempel kan nämnas:

- Föreskrifter som reglerar annan farlig verksamhet, framför allt deponering av farligt avfall, kräver inte alltid bedömning av potentiellt störande mänskliga ingrepp.
- Den i sig osäkra naturen hos mänsklig verksamhet, och hos det sätt på vilket samhället kan komma att utvecklas, innebär att endast ett fåtal slumpmässigt valda verksamheter kan analyseras och att den övergripande utvecklingen av slutförvaret inklusive mänskligt handlande, inte kan bedömas annat än på ett illustrativt sätt.
- Kostnaderna för att bedöma inverkan av mänskligt handlande på anläggningar för slutförvar av radioaktivt avfall måste stå i ett rimligt förhållande till de fördelar som sådana analyser kan ge. Om vi exempelvis utgår från slutförvarskonstruktionen KBS-3 i Sverige kan utrymmet för konstruktionsoptimering med avseende på intrångsverksamhet anses vara relativt litet.

Kärnkraft och slutförvaring av radioaktivt avfall är emellertid verksamheter som ofta oroar allmänheten på grund av övervakningsbehov, okunskap, rädsla och känsla av orättvisa (Covello et al., 1983). Alla dessa faktorer medför relativt låg toleransnivå då det gäller bedömning av riskerna kring dessa aktiviteter. En annorlunda myndighetssyn jämfört med för andra industriella verksamheter kan därför vara försvarbar.

Vetenskapliga och tekniska angreppssätt vid bedömningen leder ofta till slutsatsen att kunskapen om de fysiska processer som påverkar slutförvarets funktion är tillräcklig för att kunna extrapoleras över långa perioder, till skillnad mot utvecklingen av det mänskliga samhället som inte kan extrapoleras på ett meningsfullt sätt bortom vad vi ser idag. Det är emellertid möjligt att vissa intressenter inte skulle komma fram till samma slutsats utan anse att osäkerheten kring framtida mänskligt handlande inte är avsevärt större än osäkerheterna kopplade till de fysiska processer som påverkar ett slutförvars funktion. Slutligen bör nämnas att den sökandes övervägande av kostnader i relation till fördelar troligen har relativt låg prioritet i allmänhetens attityd till innehållet i en säkerhetsredovisning.

Tillsammans tyder dessa faktorer på att samråd med intressenterna med stor sannolikhet kommer fram till att mänskligt handlande bör beaktas i en säkerhetsredovisning. Myndigheten bör samråda om denna fråga förutsättningslöst. Ett arbetsätt som skulle kunna ligga till grund för sådana samråd beskrivs i de följande avsnitten.

6.3 Scenarier med mänskligt handlande

6.3.1 Pågående mänskligt verksamhet eller framtida mänsklig verksamhet

Myndigheterna skulle explicit kunna skilja mellan pågående mänsklig verksamhet som kan inverka på egenskaperna för tekniska eller naturliga system, men som inte står under direkt

kontroll från eller inflytande av den sökande (såsom pågående uttag av grundvatten, eller växthuseffekten då det gäller klimatet), och möjlig störande framtida mänsklig verksamhet (såsom framtida borrhning, gruvbrytning och uttag av mineralresurser):

- Pågående mänsklig verksamhet skall inkluderas i varje FEP-lista som tas fram som underlag för urval av FEP och scenarioutveckling. Varje sådan FEP som inte kan elimineras på grund av att konsekvenserna är små måste tas med i bedömningen av slutförvarets funktion.
- Möjliga störande mänskliga ingrepp skall användas för att definiera en eller flera kompletterande beräkningar, i syfte att illustrera potentiella risker för definierade kritiska grupper.

Vi föreslår att den sökande behåller ansvaret för att fastställa det detaljerade arbetssättet för scenarioutveckling i enlighet med sådana myndighetsriktlinjer och även för de metoder som används för att ta hänsyn till osäkerheter i alla typer av naturliga, slutförvarsrelaterade och människorelaterade FEP.

6.3.2 Antaganden om framtidsamhällstillstånd

Syftet med säkerhetsanalytiska beräkningar är att ge information om slutförvarets funktion under olika förhållanden – inte att förutsäga den faktiska utvecklingen för systemet. De antaganden som ligger till grund för en säkerhetsanalys är nyckelelement för att förstå resultatens sammanhang och det är viktigt att dessa antaganden identifieras tydligt. Säkerhetsanalyser ger även verktyg ett för beaktande av osäkerheterna i platsspecifika data och i processförståelse. I detta sammanhang ger analyser som tar hänsyn till framtida mänskligt handlande en illustration om de potentiella risker som är kopplade till sådan verksamhet. Däremot ger de ingen förutsägelse av faktiskt mänskligt handlande.

Att ta hänsyn till all tänkbar störande mänsklig verksamhet i en enda uppsättning beräkningar skulle med nödvändighet innebära mycket stora osäkerheter och det är osäkert om resultaten av en sådan beräkning skulle ge någon meningsfull insikt i systemets funktion. En sätt att minska omfattningen av nödvändiga beräkningar och samtidigt minska osäkerheterna som måste hanteras är att basera säkerhetsanalysen på pågående mänsklig verksamhet i området kring slutförvarsplatsen. Detta skulle garantera tillgång på maximal mängd karakteristiska data och eliminera behovet av spekulationer den framtida samhällsutvecklingen.

Antagandet att framtidens samhällen i stort sett kommer att likna dem som idag finns i närheten av platsen i fråga och på liknande platser, har betecknats som ”antagandet om framtida samhällstillstånd”. Det kan tillämpas på demografiska mönster, mänskliga egenskaper, mönster för användning av vatten och mark, teknisk och intellektuell förmåga, medicinsk kunskap och medicinska resurser samt sociala strukturer och värderingar. Myndigheterna skulle kunna tillämpa detta antagande i en oberoende värdering och även kräva att det får ligga till grund för bedömningar som utgör en del av den sökandes säkerhetsredovisning.

Inom de närmaste 35 000 till 70 000 åren förväntas slutförvarsplatser på nordliga breddgrader, inklusive Skandinavien, komma att täckas av inlandsis. Innan isen anländer till en viss anläggning är det sannolikt att permafrost kommer att utvecklas och att de demografiska mönstren i området kommer att förändras. De resurser som finns tillgängliga i regionen och som utgör det underliggande skälet till varje potentiellt störande framtida mänsklig handling, kommer inte att förändras med det svalnande klimatet. Verksamheter som beror på befolkningstätheten kommer sannolikt att minska under kallare perioder, medan verksamhet som beror på resurstillgänglighet förmodligen kommer att fortsätta med liknande frekvens. För en sådan klimatförändring skulle antagandet om samma demografi som idag sannolikt utgöra en övre gräns för omfattningen av framtida mänsklig verksamhet.

Under den period som avfallet förblir en potentiell fara kommer klimatet att genomgå flera cykler mellan dagens klimatförhållanden och kontinental nedisning. Bedömningar som tar hänsyn till klimatförändringar kan behöva beakta alla dessa cykler för att fastställa när grundvattnet som passerar genom slutförvaret når biosfären. Emellertid behöver bedömningar som beaktar potentiellt störande mänskliga ingrepp som kortsluter naturliga och tekniska barriärer kring slutförvaret bara fokusera på den första klimatförändringscykeln. Det radioaktiva sönderfallet innebär att avfallet kommer att vara mindre farligt under den andra och därefter följande cykler och dessa typer av störande mänskliga ingrepp kommer förmodligen att innebära mindre utsläpp i efterföljande nedisningscykler. På motsvarande sätt gäller att mänskligt handlande som inte kortsluter tekniska barriärer men som leder till kontakt med radionuklider som har tagit sig upp i geosfären sannolikt kommer att leda till lägre doser under alla nedisningscykler.⁵

6.3.3 Definition av störande verksamhet

Antagandet om framtida samhällstillstånd bygger på pågående mänsklig verksamhet i regionen kring slutförvarsanläggningen. Både storleken hos den beaktade regionen och längden för den aktuella perioden påverkar omfånget av den verksamhet som beaktas i scenarioutvecklingsprocessen. Det finns faktorer i inbördes konflikt som påverkar valet av vilken region och vilken period som skall beaktas. Val av små regioner och begränsade perioder skulle utesluta potentiellt viktiga mänskliga verksamheter, medan ett större område eller en längre period skulle innefatta orimliga verksamheter eller verksamheter som inte längre är relevanta. Det är emellertid möjligt för myndigheten att *a priori* definiera storleken på regionen eller längden hos den period som skall beaktas. Det kan vara lämpligt att den sökande behåller ansvaret för att definiera och motivera valet av område och tidsspann för de aktiviteter som beaktas vid scenarioutvecklingen.

Om antalet eller frekvenserna av verksamheter beaktas, liksom tiden då de inträffar, kompliceras valet av region och period ytterligare. Att begränsa regionen så att den endast innefattar områden med liknande geografiska egenskaper, eller att minska den aktuella perioden så att inbördes olika verksamhetssätt exkluderas, kan minska antalet händelser så mycket att de resulterande mängderna eller frekvenserna inte är statistiskt signifikanta. Inom flera program för säkerhetsanalyser har man kommit fram till att beräkningar av en

5 Att farorna med avfallet (= kärnbränslet) minskat så mycket efter första nedisningen återstår att visa. (Anm. vid översättningen.)

intrångsfrekvens som bygger på extrapolation av observerade data inte är försvarbara och man har därför begränsat analysen till beräkningar som bygger på fristående antaganden. Det kan vara lämpligt att den sökande behåller ansvaret för att definiera och motivera valet av region och tidsspänn för att fastställa antal och frekvenser för störande händelser vid säkerhetsanalysens beräkningar.

6.4 Avsiktligt intrång

Myndigheterna skulle kunna begränsa utvärderingen av framtida mänskligt handlande till fall med oavsiktligpåverkan, och ge en definition av "oavsiktlig" i riktlinjerna. En definition liknande den som tillämpas av NEA (1995a) för oavsiktliga åtgärder skulle vara lämplig.

Verksamhet som innebär att antingen slutförvaret eller dess barriärsystem oavsiktligt bryts igenom, eller att systemfunktionen försämrats, därför att förvarets placering är okänd, dess syfte har glömts eller konsekvenserna av handlingarna är okända.

Det är allmänt accepterat att slutförvar för radioaktivt avfall skall uppfylla sådana krav att framtida samhällen får samma grad av radiologiskt skydd som dagens samhälle (NEA, 1995b). Dagens samhälle kan emellertid inte skydda framtida samhällen från deras eget handlande om sistnämnda förstår de potentiella konsekvenserna.. Framtida samhällen kan välja att försöka återta avfallet från slutförvaret. Inverkan av eventuella tekniska anordningar som har till syfte att förenkla återtagning skall beaktas under konstruktions- och optimeringssteget, men återtagning skall betraktas som en avsiktlig handling och behöver därför inte tas med i bedömningen. Rekommendationer om i hur stor omfattning återtagbarhet skall beaktas vid konstruktion av slutförvar ligger utanför syftet med denna rapport. Myndigheterna kan ge särskilda riktlinjer till sökande om kraven för konstruktions- och optimeringsstudier, och utesluta återtagningsaspekten vid bedömning av perioden efter förslutning.

Riktlinjer från IAEA identifierar behovet av safeguard-åtgärder, inklusive långsiktig inspektion och övervakning, för slutförvar som innehåller använt kärnbränsle (se avsnitt 5.3.2). Dessa åtgärder kan genomföras under driftfasen av slutförvaret, men efter förslutning kan de komma i konflikt med de långsiktiga säkerhetskraven. Intern övervakning av slutförvaret efter försegling av schakten kan äventyra funktionen hos förseglingen. Upprätthållande av extern övervakning på platsen (avspärningar, hävdande av ägarskap etc.) ger en viss safeguard-effekt efter förslutning av slutförvaret. Myndigheterna kan ge separata riktlinjer till sökande om kraven på safeguards och övervakning efter förslutning. De kan även ge riktlinjer om den omfattning som safeguards och övervakning efter förslutning skall beaktas vid bedömning av säkerheten efter förslutning.

6.5 Val av exponerade grupper

Avsnitt 6.3 ger förslag till ett arbetssätt för att fastställa vilket mänskligt handlande som skall tas i beaktande vid de beräkningar som görs inom ramen för en säkerhetsanalys. I detta avsnitt diskuteras valet av de exponerade grupper som skall beaktas vid beräkningen av konsekvenserna av dessa handlingar.

Individuella medlemmar av ett borrarlag som tränger in i ett HLW-slutförvar kan komma att ta emot höga doser vid hantering av borkärnor. Ett borrarlag kan emellertid inte betraktas som en grupp som uppfyller kriterierna för en kritisk grupp eller en potentiellt exponerad grupp inom ramen för bedömningen av ett slutförvars funktion. Exempelvis skulle de idag föreslagna myndighetskriterierna i Sverige kräva att medelårsdoser fastställs för medlemmar av en kritisk grupp (SSI, 1997). Korttidsdoser (dvs. doser som tas emot inom loppet av ett par timmar eller mindre) av en individ eller ett fåtal individer kan inte jämföras med dessa kriterier utan meningslös medelvärdesbildning. Dessutom måste många antaganden göras kring den enskilda individens handlande och uppträdande (t ex hur nära vederbörande har undersökt borkärnan eller hur snabbt vederbörande kom till slutsatsen att materialet är farligt) för att kunna definiera en dosberäkning av detta slag. Det är tveksamt om myndighetsbeslut med avseende på den långsiktiga säkerheten kan göras utgående från potentiella doser till en enskild individ vid ett okänt tillfälle i framtiden. Myndigheterna skulle specifikt kunna exkludera borkpersonal och andra direkt inträngande individer från bedömning av säkerheten efter förslutning.

Framtida mänskligt handlande kan påverka funktionen hos slutförvaret på annat sätt än via doser till borkpersonal. Sådana åtgärder kan leda till att det bildas nya spridningsvägar eller att egenskaperna hos befintliga spridningsvägar mellan slutförvaret och biosfären förändras. Dessa nya eller ändrade spridningsvägar skulle sedan kunna leda till ökade doser till en större grupp genom intag av kontaminerat dricksvatten eller kontaminerat livsmedel. Intrång skulle även kunna resultera i spridning av radioaktivt material i biosfären där det senare kan komma in i livsmedelskedjan eller medföra doser genom inandning. De potentiellt exponerade grupperna som är relevanta för dessa typer av mänskligt handlande är desamma som de som betraktas i bedömningar av utsläpp via naturliga spridningsvägar. Myndigheterna skulle kunna ge riktlinjer kring valet av potentiellt exponerade grupper, men den sökande bör förbli ansvarig för att välja, dokumentera och motivera de dosberäkningar som presenteras i en säkerhetsredovisning.

6.6 Ett internationellt arbetssätt för att bedöma mänskligt handlande

Beräkningar av biosfärens roll innebär samma problem vid bedömningen av mänskligt handlande då det gäller definition av beräkningsfall, vilka processer som skall beaktas, vilka exponerade grupper som skall bedömas samt hanteringen av osäkerheter. Dessa frågor har varit föremål för omfattande diskussioner inom de internationella forumen BIOMOVS och BIOMASS (BIOMOVS II Steering Committee, 1996a; IAEA, 1996a). Ett föreslaget arbetssätt som skulle kunna bidra till att definiera omfattningen av biosfärberäkningar och

ge medel för jämförelse mellan program och mellan platser eller konstruktionsalternativ inom ett enskilt program är "Reference Biosphere Methodology" (BIOMOVS II Steering Committee, 1996b; IAEA, 1998). Detta arbetssätt innefattar definition av en referensbiosfär eller en generisk biosfär (eller en serie biosfärer som kan användas vid olika tidpunkter eller på olika platser) och minskar omfattningen av gissningar och mängden platskaraktäriseringsdata som krävs för en viss plats.

Ett internationellt projekt som har utvecklat generella scenarier för framtida mänskligt handlande kom fram till fördelningar av parametervärden för en uppsättning bedömningskontexter och gav ett forum för intern jämförelse mellan olika modeller och metoder som skulle kunna bli till fördel för de flesta bedömningsprogram (se avsnitt 5.1.1).

6.7 Slutsatser

Studien har lett till följande huvudslutsatser och rekommendationer.

- Beaktande av framtida mänskligt handlande kräver ett bredare perspektiv än enbart de tekniska och vetenskapliga frågor som annars ligger till grund för säkerhetsanalysen.
- Ett brett upplagt samrådsförfarande är nödvändigt för att komma fram till samsyn på effekten av institutionell övervakning och vilken typ av övervakning som har störst sannolikhet att vara effektiv.
- Myndigheterna bör definiera vissa minimikrav avseende platsövervakning, inklusive platsunderhåll efter förslutning och etablering av arkiv, samt kräva att de sökande definierar lösningar för att finansiera dessa åtgärder. Myndigheterna skall uppmantra de sökande att implementera tillkommande övervakningsåtgärder, under förutsättning att samsyn kan nås med intressenterna avseende värdet av markörer och anordningar för institutionell kontroll. De sökande måste kunna motivera varje antagande med avseende på effekten av kontrollåtgärder utöver den miniminivå som fastställts i samråd.
- En diskussion bland intressenterna skall ta upp omfattningen av och syftet med all bedömning eller analys av framtida mänskligt handlande efter den tid då institutionell kontroll har slutat fungera, och framför allt huruvida myndighetsbeslut bör göras på basis av spekulativa analyser.

Följande innehåll i en strategi för myndighetsbedömning av framtida mänskligt handlande vid värdering av säkerheten för slutförvar är en tänkbar grund för samrådet:

- Utvärdering av framtida mänskligt handlande skall baseras på dagens förhållanden i området för slutförvarsanläggningen och vid liknande platser. Platsspecifika definitioner av den aktuella regionen och den granskade perioden för att definierat antal och frekvens av sådana verksamheter skall tillhandahållas av den sökande.

- Säkerhetsanalysen måste innefatta beräkningar av slutförvarets funktioner utan några störande framtida mänskliga ingrepp. Dessa beräkningar bör innefatta inverkan av varje pågående mänsklig verksamhet som skulle kunna påverka funktionen för slutförvaret, t ex lokalt grundvattenuttag eller inverkan på klimatet från globala utsläpp av växthusgaser. Eventuellt bör ytterligare beräkningar illustrera potentiella effekter av störande mänsklig verksamhet. Den sökande bör utveckla och motivera metoderna som används för scenarioutveckling och osäkerhetsanalys för alla bedömningsberäkningar.
- Utvärderingen kan begränsas till analys av oavsiktligt mänskligt handlande som sker lokalt, och kan exkludera avsiktligt intrång, inklusive återtagning av avfallet, övervakning efter förslutning (inklusive safeguard-åtgärder) och tillkommande deponering av avfall i framtiden. Bedömningar kan också exkludera framtida globala händelser och annat framtida handlande där övriga effekter av handlandet leder till allvarigare konsekvenser än de som är resultatet av störningar av själva slutförvaret (t ex krig).
- Utvärdering av störande framtida mänskligt handlande skall beakta doser till potentiellt exponerade grupper, liknande dem som beaktas i scenariot med ostörd funktion. Detta innebär att bedömningar skall begränsas till bedömningar av de långsiktiga effekterna på störningar genom bildning av nya transportvägar och spridning av radioaktivt material i biosfären. Den sökande skall utveckla och motivera de scenarier som analyseras i en bedömning och skall diskutera det konceptuella underlaget för att beakta deras konsekvenser.

Förutom att utveckla riktlinjer för den sökande med avseende på omfattning och genomförande av säkerhetsanalyser skall myndigheten genomföra illustrativa utvärderingar i syfte att förvissa sig om förståelse av inverkan av varje föreslagna strategi och för att demonstrera den föreslagna strategin för den sökande.

Detta arbete kan stödjas genom utveckling av en internationell referens för mänskligt handlande, så som rekommenderas av NEA (1995a). Internationellt samarbete har visat sig vara användbart för att hantera andra osäkerhetsfaktorer om framtida utveckling av naturliga system, såsom referensbiosfärmetoden som för närvarande är under utveckling inom BIOMASS.

7 Referenser

AECB (Atomic Energy Control Board), 1985. Regulatory Policy Statement. Deep Geological Disposal of Nuclear Fuel Waste: Background Information and Regulatory Requirements regarding the Concept Assessment Phase. Atomic Energy Control Board Regulatory Document, R-71. AECB, Ottawa.

AECB (Atomic Energy Control Board), 1987a. Regulatory Policy Statement. Regulatory Objectives, Requirements and Guidelines for the Disposal of Radioactive Wastes - Long-Term Aspects. Atomic Energy Control Board Regulatory Document R-104. AECB, Ottawa.

AECB (Atomic Energy Control Board), 1987b. Regulatory Guide. Geological Considerations in Siting a Repository for Underground Disposal of High-level Radioactive Waste. Atomic Energy Control Board Regulatory Document R-72. AECB, Ottawa.

AECL (Atomic Energy of Canada Limited), 1994a. Environmental Impact statement on the Concept for Disposal of Canada's Nuclear Fuel waste. AECL Report AECL-10711, COG-93-1. AECL, Pinawa.

AECL (Atomic Energy of Canada Limited), 1994b. The Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste: Postclosure Assessment of a Reference System. AECL Report AECL-10717, COG-93-7. AECL, Pinawa.

Andersson, J. (Editor), 1989. The Joint SKI/SKB Scenario Development Project. SKI Technical Report 89-14. SKI, Stockholm.

BIOMOVS II Steering Committee, 1996a. Biosphere Modelling for Dose Assessments of Radioactive Waste Repositories. BIOMOVS II Technical Report No. 12, Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm.

BIOMOVS II Steering Committee, 1996b. Development of a Reference Biospheres Methodology for Radioactive Waste Disposal. BIOMOVS II Technical Report No. 6, Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm.

Covello, V.T., Flamm, W.G., Rodricks, J.V. and Tardiff, R.G., 1983. The Analysis of Actual versus Perceived Risks. Plenum, NY.

DOE (US Department of Energy), 1996. Title 40 CFR Part 191 Compliance Certification Application for the Waste Isolation Pilot Plant. US DOE Report DOE/CAO-1996-2184. US DOE Carlsbad Area Office, Carlsbad, NM.

DSIN (Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires), 1992. Determination of the Objectives to be Adopted in the Design and Construction Phases of the Creation of a Deep Geological Formation Radioactive Waste Repository to Ensure Safety after the Repository has been Closed, Basic Safety Rules, Rule No. III.2.f. DSIN, Paris.

ENRESA, 1997. Evaluacion del Comportamiento y de la Seguridad de un Almacenamiento Geologico Profundo En granito. ENRESA Technical Report No. 06/97. ENRESA, Madrid.

Environment Agency for England and Wales, Scottish Environmental Protection Agency, and Department of the Environment for Northern Ireland, 1997. Radioactive Substances Act 1993 - Disposal Facilities on Land for Low and Intermediate Level Radioactive Wastes: Guidance on Requirements for Authorisation. Environment Agency, Bristol.

EPA (US Environmental Protection Agency), 1993. 40 CFR Part 191: Environmental Radiation Protection Standards for Management and Disposal of Spent Nuclear Fuel, High-Level and Transuranic Radioactive Wastes; Final Rule. Federal Register, 58 (242), pp. 66398-66416.

EPA (US Environmental Protection Agency), 1996. 40 CFR Part 194: Criteria for the Certification and Re-Certification of the Waste Isolation Pilot Plant's Compliance with the 40 CFR Part 191 Disposal Regulations; Final Rule. Federal Register, 61 (28), pp. 5224 - 5245.

EPA (US Environmental Protection Agency), 1998. Criteria for the Certification and Re-Certification of the Waste Isolation Pilot Plant's Compliance with the 40 CFR Part 191 Disposal Regulations: Certification Decision; Final Rule. Federal Register, 63 (95), pp. 27357-27406.

EPRI (Electric Power Research Institute), 1996. Yucca Mountain Total System Performance Assessment, Phase 3. EPRI Report TR-107191. EPRI, Palo Alto.

Högberg, L., 1998. Risk perception, safety goals and regulatory decision-making. Reliability Engineering and System Safety, 589, pp. 135-139.

HSK and KSA (Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate and Federal Commission for the Safety of Nuclear Installations), 1993. Guideline for Swiss Nuclear Installations R-21: Protection Objectives for the Disposal of Radioactive Wastes. HSK, Villigen.

IAEA, 1985. Performance Assessment for Underground Radioactive Waste Disposal Systems. IAEA Safety Series No. 68. IAEA, Vienna.

IAEA, 1994. Safety Indicators in Different Time Frames for the Safety Assessment of Underground Radioactive Waste Repositories. First Report of the INWAC Subgroup on Principles and Criteria for Radioactive Waste Disposal. IAEA-TECDOC-767. IAEA, Vienna.

IAEA, 1996a. International Programme on Biosphere Modelling and Assessment Methods (BIOMASS). IAEA Report 1996-08-30. IAEA, Vienna.

IAEA, 1996b. Issues in Radioactive Waste Disposal. Second Report of the Working Group on Principles and Criteria for Radioactive Waste Disposal. IAEA-TECDOC-909. IAEA, Vienna.

IAEA, 1998. Long-term Releases from Solid Waste Disposal Facilities: The Reference Biosphere Concept. BIOMASS Theme 1, Working Document No. 1. IAEA, Vienna.

- IAEA, 1999. Maintenance of Records for Radioactive Waste Disposal. IAEA-TECDOC-1097. IAEA, Vienna.
- Jensen, M., 1993. Conservation and Retrieval of Information - Elements of a Strategy to Inform Future Societies about Nuclear Waste Repositories. Final Report of the Nordic Nuclear Safety Research Project KAN-1.3. NKS 1993:596. NKS, Roskilde.
- Kotra, J.P., McCartin, T.J., McConnell, K.I., Bell, M.J. and Federline, M.V., 1998. Strategy for development of NRC regulations for the proposed repository at Yucca Mountain, Nevada. Proc. 8th Annual Intl. Conf. High-Level Radioactive Waste Management (Las Vegas, 11-14 May 1998). American Nuclear Society, La Grange Park, IL and American Society of Civil Engineers, New York, NY.
- Marivoet, J. and Bonne, A., 1988. PAGIS: Disposal in Clay Formations. European Commission Report EUR 11776 EN. EC, Luxembourg.
- Marivoet, J. and T. Zeevaert, 1991. PACOMA: Performance Assessment of the Geological Disposal of Medium-level and Alpha Waste in a Clay Formation in Belgium. European Commission Report EUR 13042 EN. EC, Luxembourg.
- Marivoet, J., 1990. UPDATING 1990: Updating of the Performance Assessment of the Geological Disposal of High-Level and Medium-Level Wastes in the Boom Clay Formation. SCK/CEN Report BLG-634. SCK/CEN, Mol.
- Marivoet, J., 1994. Long-term Performance Studies: Selection of Scenarios to be Considered in a Performance Assessment for the Mol Site. SCK/CEN Report R-2987. SCK/CEN, Mol.
- Marivoet, J., Volckaert, G., Wemaere, I and Wibin, J., 1997. Evaluation of Elements Responsible for the Effective Engaged Dose Rates Associated with the Final Storage of Radioactive Waste: Everest Project. Volume 2a: Clay Formation, Site in Belgium. European Commission Report EUR 17499/2a EN. EC, Luxembourg.
- NAGRA, 1994. Kristallin-I Safety Assessment. NAGRA Technical Report, NTB 93-22. NAGRA, Wettingen.
- NAS (National Academy of Sciences), 1995. Technical Bases for Yucca Mountain Standards. National Academy Press, Washington, D.C.
- NEA (OECD Nuclear Energy Agency), 1991. Can Long-Term Safety be Evaluated? OECD/NEA, Paris.
- NEA (OECD Nuclear Energy Agency), 1992. Systematic Approaches to Scenario Development. OECD/NEA, Paris.
- NEA (OECD Nuclear Energy Agency), 1995a. Future Human Actions at Disposal Sites. OECD/NEA, Paris.

NEA (OECD Nuclear Energy Agency), 1995b. The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal. OECD/NEA, Paris.

NEA (OECD Nuclear Energy Agency), 1995c. Proceedings of an International Workshop on Environmental and Ethical Aspects of Long-Lived Radioactive Waste Disposal (Paris, 1-2 September 1994). OECD/NEA, Paris.

NEA (OECD Nuclear Energy Agency), 1998 (in preparation). An International Database of Features, Events and Processes. OECD/NEA, Paris.

Nirex (United Kingdom Nirex Limited), 1995. Post-closure Performance Assessment: Human Intrusion and Natural Disruptive Events. Nirex Report No. S/95/004. Nirex, Harwell.

Nirex (United Kingdom Nirex Limited), 1997. An Assessment of the Post-Closure Performance of a Deep Waste Repository at Sellafield. Volume 3: The Groundwater Pathway, and Volume 4: The Gas Pathway. Nirex Report No. S/97/012. Nirex, Harwell.

NKS (The Radiation Protection and Nuclear Safety Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden), 1993. Disposal of High Level Radioactive Waste: Consideration of some Basic Criteria. NKS, Roskilde.

NRC (US Nuclear Regulatory Commission), 1983. 10 CFR Part 60: Disposal of High-Level Radioactive Wastes in Geologic Repositories. Federal Register, 48, 28194.

Prij, J., Blok, B.M., Laheij, G.M.H., van Rheenen, W., Slagter, W., Uffink, G.J.M., Uijt de Haag, P., Wildenborg, A.F.B. and Zanstra, D.A., 1993. PROSA - PRObabilistic Safety Assessment Final Report. ECN, Petten.

Prij, J., Glasbergen, P. and Römer, J.C., 1987. Scenario's en Analyse methode. VEOS EINDrapportage, Report 2. ECN, Petten

SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB), 1995. Template for Safety Reports with Descriptive Example. SKB Technical Report 96-05. SKB, Stockholm.

SKI (Statens Kärnkraftinspektion), 1996. SKI Site-94. Deep Repository Performance Assessment Project. Volume I and II. SKI Report 96:36. SKB, Stockholm.

SSI (Statens strålskyddsinstitut), 1997. The Swedish Radiation Protection Institute's Regulations concerning the Final Management of Spent Nuclear Fuel or Nuclear Waste. SSI Report 97:07. SSI, Stockholm.

STUK (Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority), 1998. General Regulations for the Safety of the Disposal of Spent Nuclear Fuel into Bedrock. Draft Regulations to be ratified by Finnish Parliament. STUK, Helsinki.

Sumerling, T.J., Oldfield, S., Jenkinson, J., Woo, G. and Bussell, M., 1995. The probability of future human actions affecting a geological repository for nuclear wastes: Developing a model that incorporates information science and historical perspectives. Proc. Third Int.

Conf. Probabilistic Safety Assessment and Management - PSAM III (Crete, 24-28 June 1996). Elsevier, NY.

TRW, 1995. Total System Performance Assessment - 1995: An Evaluation of the Potential Yucca Mountain Repository. Report B00000000-01717-220-00136, Revision 01. TRW Environmental Safety Systems Inc., Las Vegas, NV.

US Congress, 1976. The Resource Conservation and Recovery Act (RCRA). US Code Title 42, Chapter 82, Sections 6901-6925.

US Congress, 1980. Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA or Superfund). US Code Title 42, Chapter 103, Sections 9601-9675.

Vieno, T., Peltonen, E., Vuori, S., Antilla, M., Hillebrand, A., Meling, K., Rasilainen, K., Salminen, P., Suolonen and Winberg, V., 1985. Safety Analysis of Disposal of Spent Nuclear Fuel - Disruptive Events. Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies Report YJT-85-23. TVO, Helsinki. (På finska).

Vieno, T., Hautojärvi, A., Koskinen, L. and Nordman, H., 1992. TVO-92 Safety Analysis of Spent Fuel Disposal. Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies Report YJT-92-33E. TVO, Helsinki.

Vieno, T. and Nordman, H., 1996. Interim Report on Safety Assessment of Spent Fuel Disposal, TILA-96. POSIVA Report 96-17. POSIVA, Helsinki.

Wilson, M.L., Gauthier, J.H., Barnard, R.W., Barr, G.E., Dockery, H.A., Dunn, E., Eaton, R.R., Guerin, D.C., Lu, N., Martinez, M.J., Nilson, R., Rautman, C.A., Robey, T.H., Ross, B., Ryder, E.E., Schenker, A.R., Shannon, S.A., Skinner, L.H., Halsey, W.G., Gansemer, J.D., Lewis, L.C., Lamont, A.D., Triay, I.R., Meijer, A. and Morris, D.E., 1994. Total System Performance Assessment for Yucca Mountain - SNL Second Iteration (TSPA-1993). Sandia National Laboratories Report SAND93-2675. SNL, Albuquerque, NM.

Woo, G., 1989. Is the risk of human intrusion exaggerated? Proc. of an NEA Workshop on Risks Associated with Human Intrusion at Radioactive Waste Disposal Sites (Paris, 5-7 June 1989). OECD/NEA, Paris.

Wuschke, D.M., 1991. Assessment of the long-term risks of inadvertent human intrusion into a nuclear fuel waste disposal vault in deep igneous rock. Proc. of Third International Conference on Nuclear Fuel Reprocessing and Waste Management, RECOD '91, (Sendai, 1991). pp. 473-478.

Wuschke, D.M., 1992. Assessment of the Long-Term Risks of Inadvertent Human Intrusion into a Nuclear Fuel Waste Disposal Vault in Deep Plutonic Rock. Atomic Energy of Canada Limited Report AECL-10279, COG-92-151. AECL, Pinawa.

Bilaga A

Utveckling av myndighetskrav utanför Sverige

I denna bilaga kommer vi att granska och dokumentera status för utveckling av myndighetskrav kring hantering av framtida mänskligt handlande i andra länder än Sverige.

A.1 Kanada

AECB (The Atomic Energy Control Board har sedan Juni 2000 bytt namn till the Canadian Nuclear Safety Commission - CNSC) är ansvarig myndighet för alla aspekter på utveckling och tillämpning av kärnenergi i Kanada. AECB har utfärdat tre föreskriftsdokument som gäller den långsiktiga hanteringen av radioaktivt avfall (AECB, 1985; 1987a; 1987b). Dessa dokument ger riktlinjer för analys av olika scenarier med mänskligt intrång i säkerhetsanalyser och lokaliseringskriterier.

Regulatory Document R-71: Detta dokument innehåller krav på konceptbedömningsfasen och specificerar att frågan om oavsiktlig mänskligt intrång under fasen efter förslutning måste studeras genom identifiering av intrångsscenarioer och uppskattning av sannolikheten för inträffande samt konsekvenser av intrång. Värdet av tydlig indikering av platsen med ett bestående monument skall undersökas.

Regulatory Document R-104: Detta dokument behandlar de långsiktiga kraven för slutförvaring av avfall. Dokumentet specificerar att säkerhetsfunktionen måste utvecklas för att minska sannolikheten för oavsiktligt mänskligt intrång och erbjuder en metodik och ett kriterium för bedömning av den kombinerade risken för intrång och andra scenarier. En riskgräns på 10^{-6} per år specificeras, att beräknas utan hänsyn tagen till långsiktig institutionell övervakning och skall tillämpas på en grupp människor som antas finnas vid den tid och den plats där risken sannolikt kommer att vara störst. *Regulatory Document R-72:* Detta dokument behandlar lokaliseringen av slutförvar och definierar egenskaperna för en acceptabel plats för slutförvaring av radioaktivt avfall. Några av egenskaperna har valts för att minska sannolikheten för mänskligt intrång: R-72 innefattar krav på låg sannolikhet för att gångarten kommer att exploateras som naturresurs och att slutförvaret är placerat på stort djup.

A.2 Finland

STUK, den finska Strålsäkerhetscentralen, har nyligen utfärdat ett utkast till föreskrifter om slutförvaring av använt kärnbränsle i kristallint berg (STUK, 1998). Här ingår även eventualiteten av framtida mänskligt handlande. Sådant handlande klassificeras som "osannolika störande händelser", vilket innebär händelser med låg sannolikhet som har potentialen att negativt påverka funktionen hos slutförvarets barriärer.⁶

⁶ Sedan denna rapport färdigställts har finska föreskrifter om slutförvaring av använt kärnbränsle beslutats av Statsrådet (2000).

Bland relevanta punkter i utkastets föreskrifter kan nämnas:

- Osannolika störande händelser (inklusive framtida mänskligt handlande) skall diskuteras kvalitativt, men där så är möjligt skall de radiologiska konsekvenserna och sannolikheterna för sådana händelser även bedömas kvantitativt.
- Säkerhetsanalysen skall innefatta en kvalitativ diskussion av frågor där kvantitativa analyser inte är genomförbara eller skulle bli alltför osäkra.
- Bördan på framtida generationer för hantering av radioaktivt avfall skall begränsas genom att tillämpa ett slutförvaringsalternativ som inte bygger på långsiktig institutionell övervakning.
- Slutförvarets djup skall vara så stort att händelser på ytan, inklusive framtida mänskligt handlande, inte skall ha en negativ inverkan på funktionen hos slutförvarssystemet. Djupet skall även vara tillräckligt stort för att oavsiktligt mänskligt intrång skall vara mycket svårt.

A.3 Frankrike

Franska föreskrifter om geologisk slutförvaring av radioaktivt avfall ingår i Basic Safety Rule No. III.2.f och nämner specifikt framtida mänskligt handlande (DSIN, 1992). I kapitel 5, "Safety Demonstration of the Repository" (Demonstration av slutförvarets säkerhet) ges riktlinjer om de scenarier som skall beaktas i varje säkerhetsdemonstration. I riktlinjerna ingår ett referensscenario som skall innefatta alla FEP (Features, Events and Processes) med hög sannolikhet, samt en serie scenarier motsvarande FEP med mindre sannolikhet men som potentiellt skulle ha allvarliga konsekvenser. Dessa mindre sannolika scenarier delas in i två kategorier: de som är associerade till naturliga händelser och de som är associerade till mänskligt handlande. Händelser associerade till mänsklig verksamhet innefattar framtida verksamhet som direkt och indirekt mänskligt intrång (borrning, gruvbrytning, bergbrytningsverksamhet samt byggnadsverksamhet på och under markytan), liksom klimatförändringar som beror på mänsklig verksamhet.

Bilaga 2 till Basic Safety Rule No. III.2.f ger ytterligare information om de scenarier som skall beaktas med avseende på framtida mänskligt handlande. Mänskligt intrång bedöms inte som möjligt förrän 500 år efter förslutning, beroende på att det till dess kommer att finnas arkiverad information angående slutförvarets existens. Scenarier med mänskligt intrång skall baseras på antagandet att slutförvarets existens och dess plats har glömts och att den tekniska nivån i samhället är densamma som idag. Följande alternativa scenarier innefattande mänskliga handlingar specificeras:

- Prospekteringsborrning genom slutförvaret och uttag av borrhärdar.
- Gruvdrift. Detta scenario exkluderas för platser i granit och leror eftersom det inte bedöms att det finns något incitament för gruvbrytning på sådana platser i Frankrike på föreslaget slutförvarsdjup.

- Övergivna och otillräckligt förseglade prospekteringsborrhål som går genom slutförvaret.
- Brunnsborrning för att utvinna dricksvatten eller bevattningsvatten från djupt liggande vattenreservoarer.
- För platser i saltformationer, bildning av grottor som går genom slutförvaret (utlösningssgruvdrift).
- Klimatförändringar som leder till förändring av havsnivån, vilket skall studeras som en del av utvärderingen av konsekvenserna från naturliga klimatförändringar.

A.4 De nordiska länderna

1993 publicerade strålskydds- och kärnsäkerhetsmyndigheterna i Danmark, Finland, Island, Norge och Sverige ett gemensamt dokument som var avsett att ligga till grund för utveckling av nationellt föreskriftsarbete med avseende på slutförvaring av högaktivt radioaktivt avfall (HLW) (NKS, 1993). Dokumentet innehåller de nordiska ländernas syn på grundkriterier för slutförvaring av HLW. Rekommendationer ges för geologisk slutförvaring, inklusive riktlinjer för strålskydd, platsval och säkerhetsanalys. Dokumentet nämner framtida mänskligt handlande i flera sammanhang:

- Bördan på framtida generationer från hanteringen radioaktivt avfall skall begränsas genom val av ett slutförvarsalternativ som inte bygger på långsiktig institutionell övervakning. Detta innebär att framtida generationer inte skall behöva vidta några åtgärder för att skydda sig själva mot inverkan av förvarat avfall.
- Bedömning av sannolikheter och konsekvenser av händelser som framtida intrång är höggradigt approximativa och spekulativa. Kvantitativ bedömning av scenarier med mänskligt intrång bedömdes som omöjligt och riskerna kopplade till sådana scenarier betecknades som "restrisker". Restrisker skall begränsas så mycket som är möjligt, men deras accepterbarhet skall inte bedömas mot kvantitativa riskgränser.
- Slutförvarsplatser skall inte ligga i anslutning till några naturliga resurser som inte finns lätt tillgängliga från andra källor. Bland sådana resurser kan nämnas fossila bränslen, metallmalm, geotermisk potential, viktiga grundvattenresurser och fyndigheter av sällsynta mineraler (inte med nödvändighet ekonomiskt utvinnbara). Två skäl gavs för att stödja denna hållning:
 - Framtida generationer skall kunna exploatera naturresurser till sin egen fördel utan att behöva utsätta sig för radiologiska risker.
 - Kunskap om platsen för slutförvaret kan komma att gå förlorad och oavsiktligt intrång i slutförvaret kan komma att utföras av individer som försöker exploatera naturresurser.

- Slutförvarets djup skall vara tillräckligt för att framtida mänsklig verksamhet på ytan, inklusive grävarbeten eller explosioner, inte skall ha negativ inverkan på slutförvarssystemets funktion.

A.5 Schweiz

Den schweiziska motsvarigheten till kärnkraftinspektionen, HSK (Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen) ansvarar för föreskrifter m.m. med avseende på slutförvaring av radioaktivt avfall i Schweiz, inom ramen för föreskriften HSK R-21 "Skyddsmål för slutförvaring av radioaktivt avfall" (HSK och KSA, 1993).

I kapitel 7.4 av HSK R-21 anges att "det är omöjligt att noggrant förutsäga vad som kommer att hända i framtiden, framför allt i en avlägsen framtid. Emellertid, med hjälp av detaljerade analyser måste den sökande visa vilka processer och händelser som skulle kunna påverka slutförvarssystemet under tidens gång och utveckla potentiella scenarier utgående från detta. Processer och händelser med extremt låg sannolikhet för inträffande eller med betydligt mer allvarliga icke-radiologiska konsekvenser, liksom avsiktligt mänskligt intrång i slutförvarssystemet, behöver inte beaktas i säkerhetsanalysen."

I avsnitt 7.2 i HSK R-21 anges att "...dosberäkningar för en avlägsen framtid skall inte tolkas som giltiga förutsägelser för radiologisk exponering av en definierad befolkningsgrupp. De skall snarare betraktas som indikatorer för utvärdering av inverkan av ett potentiellt utsläpp av radionuklider i biosfären. I den sistnämnda meningen skall dos- och riskberäkningar genomföras för den avlägsna framtiden, åtminstone med avseende på de maximala potentiella konsekvenserna från slutförvaret, utan hänsyn till de osäkerheter som är relaterade till biosfärens tillstånd och existensen av en befolkning. För sådana beräkningar skall en referensbiosfär och en potentiellt påverkad befolkningsgrupp med, ur dagens synvinkel, realistiska levnadsmönster antas."

Här accepteras alltså att mänskligt handlande inte kan förutsägas i framtiden och att avsiktligt mänskligt intrång, tillsammans med händelser med låg sannolikhet, inte behöver beaktas i säkerhetsanalyser.

A.6 Storbritannien

A.6.1 Riktlinjer för krav på godkännande

I Storbritannien ligger ansvaret för att ge tillstånd för slutförvaring av radioaktivt avfall i England och Wales inom Environment Agency. Framtida mänskligt handlande har explicit beaktats i de nya myndighetsriktlinjer som publicerades i Storbritannien 1997 (Environment Agency et al., 1997), Guidance on Requirements for Authorisation (GRA) (Riktlinjer om krav för godkännande).

GRA innefattar fyra principer för att skydda allmänheten mot skadlig radiologisk inverkan och några av dessa har relevans för framtida mänsklig verksamhet på slutförvarsplatser.

Exempelvis anger princip nummer 1 att "efter deponering av radioaktivt avfall, förslutning av slutförvarsanläggningen och avslutande av övervakningsverksamheten, får den fortsatta isoleringen av avfallet från åtkomlig miljö inte vara beroende av att framtida generationer tar ansvar för slutförvarssystemets integritet". Under perioden efter avslutande av övervakningsverksamheten anser GRA att konformitet med strålskyddsstandard inte kan demonstreras eller upprätthållas. Standarden uttrycks därför som ett mål i syfte att ta hänsyn till den mer begränsade garanti för konformitet som går att uppnå. Funktionsmålet uttrycks som risk, vilket bedöms som lämpligare med tanke på de inneboende osäkerheterna i en bedömning av framtida funktion.

Framtida mänskligt handlande nämns explicit i GRA. Två uttalanden görs:

- GRA skiljer mellan två klasser av framtida mänskligt handlande, nämligen avsiktligt och oavsiktligt. Avsiktliga ingrepp utförs i medvetenhet om slutförvarsanläggningens plats och dess farliga natur. Oavsiktliga ingrepp sker på grund av att platsen eller dess syfte är okända. GRA anger explicit att det inte är nödvändigt att bedöma avsiktliga mänskliga handlingar. Detta beror på att det kan antas att "ingen sådan handling kommer att utföras utan vederbörlig hänsyn till säkerhetsaspekterna, ekonomin och miljön vid den aktuella tiden."
- GRA anger att på lång sikt "går det inte att förlita sig på institutionell övervakning för att skydda slutförvarsanläggningen och utvecklaren förväntas bedöma sannolikheten och konsekvenserna för framtida mänskligt handlande." Här refereras till rapporten från NEA-arbetsgruppen (NEA, 1995a) för riktlinjer och ramar för bedömning av inverkan av mänskligt handlande på slutförvarsanläggningar. Rekommendationerna i NEA-rapporten sammanfattas i kapitel 5 i denna rapport.

A.6.2 Markov-modellerna för framtida mänskligt handlande

I modeller för beräkningar av doser och risker som följer av mänskligt handlande betraktas den radiologiska risken normalt som direkt proportionell mot sannolikheten för framtida mänskligt handlande som stör slutförvaret. Frekvensen av mänsklig aktivitet, som bormning, har ibland uppskattats genom att undersöka vetenskapliga data om djupbormning eller gruvbrytningsverksamhet i närheten av platsen eller i geologiskt liknande miljöer (se exempelvis den metodik som beskrivs av Nirex (1995) enligt avsnitt B.2.9 i denna rapport). Man har då antagit att frekvenser för sådant handlande i framtiden kommer att vara det samma som frekvensen i det förflutna.

För att beakta alternativa arbetssätt har Environment Agency för England och Wales engagerat sig i forskning för att utveckla en probabilistisk modell för framtida mänskligt handlande som bygger på Markovska informationstillstånd. En Markov-modell kan användas för att representera processer av informationsbevarande och myndighetsstrategier genom att tilldela sannolikheter för mänskligt handlande som är tillståndsberoende (Woo, 1989; Sumerling et al, 1995).

En prototypmodell för möjliga sekvenser av framtida mänskligt handlande utvecklades baserat på Markov-modellen, föreslagen av Woo (1989). Modellen består av tre element:

- Fysiska modeller av olika typer av relevanta mänskliga handlingar, som djupborrning, grävarbeten och grundvattenuttag.
- En informationstillståndsmodell som representerar den tillgängliga informationsnivån och graden av institutionell kontroll på platsen inom diskreta tillstånd med varierande varaktighet.
- En händelse- och konsekvensmodell för att beräkna inträffande i rum och tid av händelser och därav följande doser till fördefinierade kritiska grupper.

En expertutfrågning genomfördes för att undersöka möjligheterna att få fram relevant information om detta område och att bygga en konceptmodell med data för demonstrationsberäkningar. Övningen beaktade sannolikheten för framtida borrhopp i ett slutförvar vid Sellafield. Expertgruppen innefattade en företrädare från en kärnkraftmyndighet, en historiker, en informationsexpert, en geofysiker, en arkeolog och en gruvingenjör. Gruppen utvecklade en modell för att beskriva interaktionen mellan olika faktorer som betraktades som mest relevanta för att bedöma framtida mänskligt handlande på en slutförvarsplats. Denna "åttatillståndsmodell" illustreras i figur A.1.

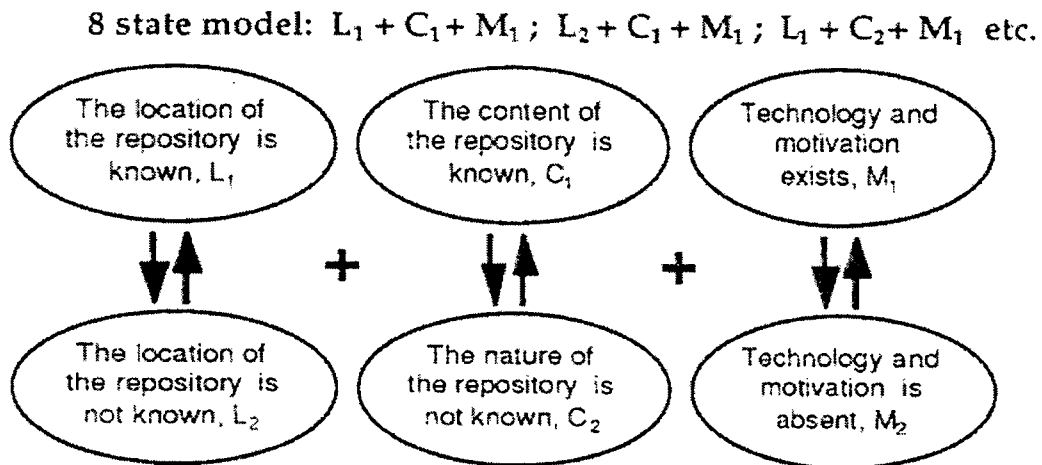
Experter identifierade teknik och motivation som den dominerade parametern med information om slutförvarets plats och/eller innehåll av sekundär betydelse. Gruppen tog sedan fram kumulativa sannolikhetsfördelningsfunktioner (PDF – Probability Distribution Function) för teknik/motivationstillståndsvaraktigheter för ett generellt klimatförhållande och en PDF för förräntningstider för borrning. Resultat som bygger på modellen och data från experterna ledde till långsiktiga beräkningar av borrhänsor vid Sellafield som åtminstone ligger en faktor 10 högre än vad som skulle bli resultatet genom att extrapolera kortsiktiga historiska data om borrningar i hårt berg i Storbritannien.

Expertgruppen kom fram till följande slutsatser:

- På lång sikt är det sannolikt att permanenta markörer vid platsen skulle medföra ökat intresse för platsen i fråga och ökad sannolikhet för störningar, i jämförelse med en situation där det inte förekommer någon utmärkning av platsen.
- Tillsyn och planerad övervakning kan i sig inte betraktas som effektiv för att förebygga mänskligt intrång under längre tid än några få decennier.
- Tidsskalorna för kontinuerlig arkivering av information i relevant form ligger i storleksordningen tiotals till hundratals år.
- Den viktigaste faktorn som påverkar sannolikheten för djupborrning eller gruvbrytning i kristallin berggrund är om relevant teknik finns tillgänglig eller har gått förlorad och hur stark motivation som finns för att söka efter underjordiska resurser. Historisk information om förvärv och förlust av mänsklig teknik ger en indikation på de sannolika tidsskalorna.
- Det är inte lämpligt att använda kortsiktiga historiska data om borrning från ett större område eller från en annan plats för att bedöma hur sannolikt det är med borrh-

ning inom en långsiktig framtid vid en viss plats. Historiska data visar att mänskligt handlande påverkas av platsens egenskaper och inte sker slumpmässigt.

Den slutliga rapporten om detta projekt återstod 1998 att publicera och därför är det inte känt vilka slutliga rekommendationer som kommer att ges med avseende på användning av en Markov-modell för att bedöma framtida mänskligt handlande i säkerhetsanalyser.



Figur A.1 Schematisk illustration av en åttatillståndsmo­dell för interaktionen mellan olika faktorer som bedöms som särskilt relevanta för att uppskatta framtida mänskligt handlande vid en slutförvarsplats (enligt Sumerling et. al., 1995).

A.7 USA

Frågan om framtida mänskligt handlande har bedömts i ett antal USA-föreskrifter. Bland dessa kan nämnas:

- Slutförvarsprogram som regleras såväl av EPA (US Environmental Protection Agency) som av NRC (US Nuclear Regulatory Commission), exempelvis de för högaktivt radioaktivt avfall (HLW) inklusive Yucca Mountain, lågaktivt radioaktivt avfall (LLW), slagg från urangruvor och rivning av kärntekniska anläggningar.
- Slutförvarsprogram som regleras av EPA, t ex WIPP (Waste Isolation Pilot Plant), hantering av farligt avfall och kommunalt fast avfall i enlighet med RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) och platser som täcks av CERCLA (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act) även känd som "the Superfund".

Vi skall i korthet granska arbetssättet för hantering av framtida mänskligt handlande inom WIPP, Yucca Mountain, RCRA och CERCLA.

A.7.1 WIPP (Waste Isolation Pilot Project)

EPA ansvarar för att utveckla och implementera författningar med avseende på prövning av WIPP-slutförvaret i New Mexiko. WIPP har utvecklats av DOE (United States Department of Energy) för slutförvaring av transurant radioaktivt avfall i saltformation, ca 650 m under markytan. WIPP ligger i Delaware-bäckenet, ett naturresursrikt område som innehåller ekonomiskt värdefulla fyndigheter av kolväten och pottaska. Framtida mänsklig verksamhet vid denna plats är därför en viktig aspekt.

Allmänna kriterier med avseende på säkerhet efter förslutning ges i lagarna 40 CFR Part 191 (EPA, 1993), och platsspecifika kriterier ges i 40 CFR Part 194 (EPA, 1996). 40 CFR Part 194 kräver att säkerhetsanalyser innefattar bedömning av alla av människor initierade FEP som berör verksamhet som bedrivits i närheten av slutförvarssystemet och som rimligen kan förväntas fortsätta inom den närmaste framtiden. Beaktandet av framtida mänskligt handlande vid säkerhetsanalyserna begränsas till borrhning och gruvbrytning.

EPA har gett ytterligare riktlinjer och kriterier om bedömning av såväl sannolikhet för som konsekvenser av framtida mänskligt handlande:

- T ex, med avseende på sannolikheten för framtida borrhning, resonerar EPA "...att medan resurserna som man borrar efter idag kanske inte är desamma som dem man borrar efter i framtiden, ger dagens antal borrhade hål en idé om hur många hål som kommer att borraras i framtiden". Följaktligen, vid beräkning av frekvensen för framtida borrhning krävs att DOE identifierar hur mycket det har borrhats efter varje resurs i Delaware-bäckenet under de 100 åren före den tidpunkt då en ansökan framställs. Historiska borrhdata för andra syften än prospektering och utvinning (som t ex undersökning av WIPP-platsen) behöver inte beaktas vid bedömningen av framtida

borrningsfrekvens. Vidare kan DOE begränsa mängden framtida borrhning utgående från en bedömning av de potentiella resurserna i området kring platsen.

- Med avseende på konsekvenserna av scenarier med mänskligt intrång kräver EPA att säkerhetsanalyser "...skall anta att egenskaperna i framtiden förblir som de är vid tiden då ansökan läggs fram." Vidare specificerar EPA att säkerhetsanalyser inte behöver bedöma inverkan av den teknik som används för resursutvinning efter upptagning av ett borrhål. EPA anger även att "...oavsiktlig och intermittent intrång i samband med borrhning efter resurser (andra än sådana resurser som ges av avfallet i slutförvarssystemet eller tekniska barriärer som är avsedda att isolera sådant avfall) är det allvarligaste scenariot med mänskligt intrång." Därför behöver scenarier med mänskligt intrång som innefattar avsiktligt intrång inte beaktas i säkerhetsanalysen.

A.7.2 Yucca Mountain-föreskrifter

EnPA 1992 (Energy Policy Act) föreskrev en separat process för att skapa specifika föreskrifter inklusive kriterier för det föreslagna slutförvaret vid Yucca Mountain. I enlighet med avsnitt 801 i EnPA kräver USA:s kongress att EPA skall ge NAS (US National Academy of Sciences) möjlighet att analysera den vetenskapliga basen för de kriterier som skall tillämpas vid platsen Yucca Mountain och krävde att EPA skulle utfärda hälso-baserade kriterier för Yucca Mountain baserade på och i enlighet med slutsatserna från NAS.

Som del av sin utvärdering enligt EnPA kom NAS fram till att det inte är möjligt att göra några vetenskapligt underbyggda förutsägelser om sannolikheten för att ett slutförvars tekniska eller geologiska barriärer skall brytas igenom som följd av mänskligt intrång under en period på 10 000 år (NAS, 1995). NAS anser att det inte är möjligt att förutsäga sannolikheten för att framtida intrång kommer att ske inom en viss period, och inte heller sannolikheten för att ett framtida intrång skulle avslöjas och åtgärdas. NAS bedömer att även om det inte finns något vetenskapligt underlag för att bedöma om aktiv eller passiv institutionell övervakning skulle kunna förebygga en orimlig risk för mänskligt intrång skulle sådana åtgärder vara till hjälp för att minska risken för intrång under en tid efter att förvaret har slutits.

NAS antyder att det inte är vetenskapligt motiverat att inkorporera alternativa scenarier för mänskliga intrång i en riskbaserad bedömning. NAS anser att det skulle vara möjligt att genomföra en konsekvensanalys för specifika typer av intrång och att sådana analyser, utförda separat från beräkningar av doser och risker för andra händelser och processer, skulle vara av värde. NAS specificerar ett principiellt intrångsscenario där konsekvenserna av borrhål från ytan genom en avfallsbehållare till en underliggande vattenreservoar skulle bedömas. Analysen skulle exkludera exponering av borrhpersonal och andra som följd av att fragment av radioaktivt material förs upp till ytan vid borrhningen, eftersom sådan radiologisk inverkan är omöjlig att kvantifiera med tillräcklig precision. NAS rekommenderar att funktionen hos slutförvaret efter intrång skall bedömas med samma analytiska metoder och antaganden, inklusive sådana om biosfären och kritiska grupper, som används i bedömningen av funktionen för det ostörda fallet. NAS rekommenderade att risken beräknad från

det antagna intrångsscenarioet inte skulle sättas högre än riskgränsen som antagits för fallet med ett ostört slutförvar, eftersom ett slutförvar som är lämpligt för säker långsiktig förvaring bör kunna isolera avfallet på ett acceptabelt sätt även efter någon form av intrång.

Vid tiden då detta skrivs har EPA ännu inte publicerat något förslag till nya Yucca Mountain-föreskrifter som svar på NAS rekommendationer och NRC måste fortfarande ändra sina tekniska krav och kriterier (10 CFR Part 60). Aktuell NRC-strategi för utveckling av Yucca Mountain-föreskrifterna (10 CFR Part 63) beskrivs av Kotra et al. (1998). NRC utgår från att man kommer att följa NAS rekommendationer genom att kräva att framtida mänskligt handlande skall beaktas inom ramen för ett distinkt illustrativt intrångsscenario som skall utvärderas separat från antagandet av ostörd funktion hos slutförvaret.

A.7.3 Andra miljökrav i USA

EPA ansvarar för att genomföra många miljömässiga statuter som har olika sätt att hantera skyddet för människors hälsa och miljön. EPA-krav som etablerats för att begränsa risker för den mänskors hälsa från icke-radioaktiva farliga kemikalier innehåller även krav som beaktar framtida mänsklig verksamhet på slutförvarsplatser. Emellertid är kraven tämligen skilda från de som gäller för slutförvar för radioaktivt avfall.

Två specifika delar av lagen och tillhörande föreskrifter behandlas här:

- Föreskrifter om hantering och slutförvaring av farligt avfall i enlighet med Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) (US Congress, 1976), kodifierad i 40 CFR Part 264, Subparts G to X.
- Föreskrift inom ramen för Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (CERCLA) (US Congress /ändra bakåt/, 1980), även känd som "Superfund", vilken togs fram för att hantera befintliga förvar för kemiskt avfall där utsläpp redan hade skett och där det inte förekom aktiv övervakning och underhåll.

Resource Conservation and Recovery Act (RCRA)

EPA-kraven för förslutning av anläggningar för farligt avfall enligt RCRA tar inte specifikt hänsyn till intrångsaspekten. Emellertid beaktas skydd mot intrång vid granskning av tillstånd för förslutning och verksamhet efter förslutning. Vid definitiv förslutning av deponier krävs att ägaren/operatören installerar ett täcke som är avsedd att skydda mot långsiktig strömning av grundvatten genom deponin, minimera erosion och kompensera för sättningar och subsidens. Ägaren/operatören av anläggningen skall övervaka tillträdet till platsen och begränsa störningar under en period av 30 år efter förslutning, en period som kan förkortas eller förlängas enligt EPA:s beslut. Under denna period är ägaren/operatören skyldig att upprätthålla och driva alla övervakningssystem vid anläggningen och att underhålla de markörsystem som används för att avgränsa avfallscellerna. Passiv institutionell övervakning krävs också och utgörs i första hand av restriktioner mot användning av marken samt underhåll och arkivering av dokument som tagits fram av ägaren/operatören med avseende på all relevant information om platsen. På sikt skulle RCRA-platser kunna bli föremål för reglering enligt CERCLA.

CERCLA (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act)

I enlighet med CERCLA måste en grundriskvärdering göras för en plats i syfte att fastställa om åtgärder på platsen är motiverade. Vidare måste riskbedömningar göras för ett antal framtida scenarier för användning av platsen, med antagande av dagens platsförhållanden. Då en riskbedömning görs är det i de flesta fall de närboende som är närmast berörda. Emellertid beaktats mänskligt intrång även då en distinktion görs mellan obefogad närvaro (dvs. individer som olovligen rör sig på markytan omedelbart ovanför det begrävda avfallet) och inträngande (dvs. personer som aktivt tränger in i eller stör en avfallsanläggning). Vanligen görs följande distinktion:

- Risker för tillfälliga obehöriga passerande beräknas vanligen utgående från ett rekreationsscenario med exponering relaterad till kontakt med marken samt jakt och fiske på platsen. Ingen bedömning görs av ett scenario där den obehörige stör anordningarna för isolering av avfallet på platsen.
- Risker för inträngande hanteras inte typiskt som en del av en CERCLA-riskbedömning av en anläggning för kemiskt avfall. Det beror förmodligen på ett antagande (i fallet av anläggning för kemiskt avfall) att institutionella övervakningsåtgärder typiskt kommer att förebygga sådant intrång under den tid som anläggningen utgör en potentiell hälsorisk.

CERCLA tillåter användning av en mängd olika system för institutionell övervakning på plats-specifik basis. Aktiv övervakning, som plats-säkerhetsåtgärder, kan krävas under 30 år eller längre. Passiv övervakning innefattar restriktion mot lagfarter, servitut, statligt ägande av platsen och ständig tillsyn av ansvariga parter.

Generellt gäller att kraven på institutionell övervakning, kontroll, framtida användning av platsen och mänskligt intrång är mera preskriptiva då det gäller slutförvar för radioaktivt avfall än för slutförvar för kemiskt avfall. RCRA och CERCLA stödjer sig båda på institutionell övervakning för att kontrollera oacceptabla framtida risker. Det antas att tillstånd även fortsättningsvis kommer att krävas för att driva anläggningar, att restriktioner på framtida användning av mark fortfarande kommer att genomdrivas samt att övervakning, om sådan krävs, kommer att fortsätta under överskådlig framtid. För många CERCLA-platser, framför allt sådana som befinner sig inom industriområden, är det vanligt att EPA och de parter som ansvarar för platsen kommer överens om begränsningar i syfte att förebygga framtida användning av platsen för bostadsändamål. Det beror på ett framtida scenario med bosättare på platsen, som anlägger en privat vattenbrunn och grönsaksland, vilket vanligtvis antas innebära de största riskerna

Bilaga B

Hantering av mänskliga handlingar i nyligen genomförda säkerhetsanalyser

I denna bilaga sammanfattar vi hanteringen av mänskliga handlingar i nyligen genomförda säkerhetsanalyser och stödjande studier för koncept till djupa geologiska slutförvar för radioaktivt avfall i nio olika OECD-länder. Vi har koncentrerat oss på säkerhetsanalyser som genomförts av organisationer som söker eller kan komma att söka tillstånd till slutförvaring, eftersom myndighetsbedömningar vanligen inte har beaktat mänskliga handlingar i någon större grad. Stödjande studier som genomförts av några myndigheter diskuteras i bilaga A. Vi har uteslutit nyligen genomförda internationella initiativ, t ex det EG-stödda EVEREST-projektet (Evaluation of Elements Responsible for the Effective Engaged Dose Rates Associated with the Final Storage of Radioactive Waste, Marivoet et al., 1997) därför att dessa inte ger några betydande bidrag till hanteringen av framtida mänskligt handlande.

B.1 Myndigheters säkerhetsanalyser

B.1.1 Sverige

SITE-94 (SKI, 1996) var ett säkerhetsanalysprojekt som genomfördes av SKI för ett hypotetiskt slutförvar på en faktisk plats (Äspö). Huvudsyftet var att fastställa hur platsspecifika data skulle integreras i en säkerhetsanalys och att utveckla en sund metodik för scenarioframtagning och analys, inklusive systematisk val av FEP. Flera scenarier med framtida mänskligt handlande definierades.

Ett huvudscenario utvecklades, baserat på:

- En deterministisk beskrivning av möjliga klimatförändringar på platsen under de närmaste 100 000 åren.
- En beskrivning av de möjliga förändringarna av ytmiljön på platsen under samma period.
- Kvantitativ information om hur dessa förändringar skulle kunna påverka slutförvarssystemet.

Tilläggs scenarier utvecklades genom att sålla de 81 FEP som inte ingår i huvudscenariot och lägga till de resulterande urvalet av FEP till huvudscenariot. Flera FEP som relaterade till mänskligt intrång eliminerades i detta stadium. Exempelvis exkluderades direkt mänskligt intrång i slutförvaret på grund av dess oförutsägbarhet och svårigheten att etablera någon form av kvantitativ modell. Efter att ha sammanställt de kvarstående FEP kvarstod fyra kategorier av FEP som bygger på mänskliga handlingar:

- Gruvdrift samt borrhning efter vatten eller geotermisk energi.

- Bristande försegling.
- Mänsklig inverkan på ytan.
- Grundvattenflöden och deponering av flytande avfall.

Ytterligare två scenarier som bygger på mänskliga handlingar identifierades genom att beakta kombinationer av dessa fyra återstående FEP-kategorier. Beaktande av naturligt förekommande FEP ledde till identifiering av två andra tilläggsscenarioer, vilket resulterade i totalt åtta tilläggsscenarioer:

Tilläggsscenario 1:	Utveckling av ett varmare och fuktigare klimat än det som beaktas i huvudscenariot.
Tilläggsscenario 2:	Storskaliga seismiskt inducerade tektoniska rörelser.
Tilläggsscenario 3:	Framtida öppning av en större gruva eller vattenkälla nära slutförvaret.
Tilläggsscenario 4:	Bristande schaktförsegling.
Tilläggsscenario 5:	Framtida injicering av flytande avfall i en sprickzon nära slutförvaret.
Tilläggsscenario 6:	Framtida injicering av flytande avfall i ett schakt med bristande försegling tillsammans med lokalt grundvattenuttag från en gruva eller en brunn.
Tilläggsscenario 7:	Framtida mänsklig inverkan på ytvatten eller grundvatten.
Tilläggsscenario 8:	Framtida inverkan av gruvdrift på ytvattnets eller grundvattnets kemi.

Tilläggsscenarierna är rent deskriptiva och inget av dessa har genomgått någon kvantitativ modellering eller konsekvensanalys i SITE-94, även om specifika förslag i flera fall lades till om hur de skulle kunna modelleras i framtiden.

B.2 Säkerhetsanalyser som genomförts av organisationer som söker eller planerar att söka tillstånd till slutförvar

B.2.1 Belgien

Belgiska säkerhetsanalyser har i huvudsak berört möjligheten till slutförvaring av radioaktivt avfall i Boom-leravlagringen vid Mol i norra Belgien. Den första fasen av säkerhetsanalysen vid Mol avslutades 1991 och bestod av PAGIS (Marivoet och Bonne, 1988), PACOMA (Marivoet och Zeevaert, 1991) och UPDATING 1990 (Marivoet, 1990). En andra fas av säkerhetsanalys vid Mol har ett mer systematiskt arbetssätt för scenariovalet (Marivoet, 1994).

Den andra fasen följde rekommendationerna från NEA-scenarioarbetsgruppen (NEA, 1992) i att tillämpa ett systematiskt arbetssätt på identifiering, klassificering och sållning av alla tänkbara FEP, före formulering av scenarier. Den ursprungliga listan av FEP bygger på den som tagits fram av IAEA (IAEA, 1985) och NEA (NEA, 1992). Efter sållning definierades ett normalt utvecklingsscenario som skulle inkludera alla FEP som säkert eller med stor sannolikhet kommer att inträffa. Åtta anpassade utvecklingsscenarier definierades genom att lägga ytterligare FEP till det normala utvecklingsscenariot. Dessa FEP har potentialen att negativt påverka funktionen hos en eller flera komponenter i slutförvarssystemet.

Tillagda FEP som innefattar framtida mänsklig verksamhet är bland annat följande (Marivoet, 1994):

- Prospekteringsborrning.
- Exploateringsborrning.
- Arkeologiska undersökningar.
- Grundvattenuttag.
- Förlorade dokument.
- Antropogena klimatförändringar.
- Stenbrott och/eller torvtäkt.

Uttag av grundvatten och brytning av sten och/eller torv ingick båda i det normala utvecklingsscenariot. Förlust av data beaktades implicit i samtliga scenarier som innefattar mänskligt handlande. Återstående fyra FEP användes för att formulera tre anpassade utvecklingsscenarier.

Normalt utvecklingsscenario: Detta scenario omfattar de flesta av de 60 tillagda FEP, vilka diskuteras inom fyra tidsområden. Från 0 till 500 år efter förslutning förväntas att betydande värme- och strålningsmängder genereras av avfallet, men att grundvattnet och avfallsformen isoleras av avfallsbehållarna. Under perioden från 500 till 10 000 år inleds korrosion av behållarna och radionuklider löses ut i grundvattnet och börjar migrera. Under perioden från 10 000 till 150 000 år måste effekterna av förväntade klimatförändringar, framför allt på grundvattensystemet tas i beaktande. Efter 150 000 år blir förändringar som orsakas av en serie nedisningar och interglaciala perioder samt tektoniska rörelser allt svårare att förutsäga och endast kvalitativa analyser av deras inverkan kan göras.

Exploateringsborrning: Detta scenario omfattar borrning av en vattenbrunn till underliggande vattenreservoar på ett sådant sätt att en vattenbarriär bryts igenom. Detta scenario beaktades separat på grund av sannolikheten att en vattenbrunn borrar till en vattenreservoar under slutförvaret bedömdes som betydligt lägre än ett. Avgörande modelleringsverktyg och data fanns redan tillgängliga för att tillåta konsekvensanalys av detta scenario. Resultaten var liknande dem för det normala utvecklingsscenariot.

Växthuseffekt: Detta scenario formulerades till följd av studier som indikerar att konsekvenserna av växthuseffekten på jordens klimat kan vara i flera tusen år. Emellertid suspenderades arbetet med detta scenario till dess att fler resultat för dessa studier blir tillgängliga.

Prospekteringsborrning/arkeologisk undersökning: I detta scenario antogs att oavsiktligt intrång genom prospekteringsborrning eller arkeologiska undersökningar transporterar upp en borrhärna eller bitar av radioaktivt avfall till ytan. Studien ansåg att sannolikheten för att detta scenario förverkligas skulle undersökas noggrant eftersom det potentiellt skulle kunna leda till mycket allvarliga konsekvenser sett till exponering för radioaktiv strålning. Om sannolikheten skulle befinnas vara lägre än 10^{-8} per år behöver scenariot inte analyseras ytterligare.

B.2.2 Kanada

Ett betydande bidrag till scenarioutvecklingen och säkerhetsanalysen har presenteras av Atomic Energy of Canada Limited, som en del av deras EIS (Environmental Impact Statement) (AECL, 1994a; b). Huvudsyftena med AECL-bedömningen var:

- Att utveckla och dokumentera en metod för att bedöma de långsiktiga effekterna samt säkerheten för en slutförvarsanläggning för Kanadas kärnavfall.
- Att demonstrera användbarheten för metoden genom att tillämpa den på ett referensslutförvarssystem.

AECL har utvecklat en probabilistisk säkerhetsanalysmetodik applicerbar på tiden efter förslutning för att utvärdera genomförbarheten för geologisk slutförvaring av använt kärnbränsle i den kristallina bergarten i den kanadensiska skölden. En expertgrupp sammankallades för att identifiera alla faktorer som med någon rimlighet skulle kunna påverka funktionen hos slutförvarssystemet. Två grupper av faktorer identifierades. En grupp på ca 150 faktorer som skulle bidra till risken inom 10 000 år efter förslutning och en grupp på 150 faktorer som endast skulle kunna bidra till risken på längre sikt.

De ca 150 faktorerna som bedömdes som viktiga under de första 10 000 åren efter förslutning kombinerades till tre scenariogrupper:

- Den första gruppen innehöll alla utom två av de 150 faktorerna, integrerade i en systemmodell. De förväntade utsläppstransportvägarna innefattade normala grundvattenbaserade processer där radionuklider tränger ut från förvaret, migrerar genom geosfären, kommer upp i biosfären och orsakar strålningsexponering. Dessa transportvägar ansågs också täcka användning av en brunn borrhärna nära slutförvaret. Denna centrala grupp scenarier modellerades med hjälp av datorprogrammet SYVAC3-CC3 och kallas därför SYVAC-scenarier.
- Den andra gruppen scenarier (scenarier med öppna borrhål) innehöll alla samma faktorer som SYVAC-scenarierna, plus ett oförseglat borrhål som passerar igenom eller nära slutförvaret och som ger en direkt transportväg för föroreningar att transporteras från slutförvaret till ytan. En sådan händelse skulle kraftigt störa

grundvattenflödesfälten. Scenariot utvärderas genom att modifiera geosfärsmodellen i SYVAC så att denna händelse skulle ingå.

- Den tredje gruppen scenarier (störningsscenarier) innefattade andra framtida mänskliga handlingar som skulle kunna störa slutförvarssystemet, specifikt oavsiktliga mänskliga intrång i slutförvaret genom borrhning eller sprängning. Denna grupp scenarier diskuteras närmare nedan.

Störande scenarier

Den enda störande händelse som identifieras som relevant inom en period på 10 000 år är oavsiktligt mänskligt intrång. Sannolikheten för inträffande uppskattades till mindre än 5×10^{-6} per år för alla tidpunkter upp till 10 000 år och ansågs inkludera även verksamhet som borrhning, gruvbrytning och sprängning nära slutförvaret. Avsiktligt mänskligt intrång och avsiktlig kortslutning av naturliga och/eller tekniska barriärer togs inte med i bedömningen.

Oavsiktligt mänskligt intrång klassificerades enligt fem kategorier:

- (1) Exponering för icke utspritt avfall.
- (2) Exponering för avfall som spritts på grund av tidigare intrång.
- (3) Av människor orsakad ändring av den förväntade utvecklingen av slutförvarssystemet.
- (4) Kontakt med utspritt kontaminerat grundvatten.
- (5) Kontakt med material som i sin tur varit i kontakt med utspritt kontaminerat grundvatten.

Kategorierna (4) och (5) bedömdes som inkluderade i den centrala SYVAC-analysen för transport med grundvatten. Kategori (3) bedömdes som täckt av känslighetsanalysen för transport via grundvatten, genom utveckling av effekterna av accelererad transport. De första två kategorierna behölls för separat konsekvensanalys med en alternativ metod (Wuschke, 1991; 1992).

Fyra representativa scenarier inom de båda första kategorierna analyserades. Alla fyra scenarierna innefattade borrhning som penetrerar avfallet och för upp det till ytan. Scenarier med gruvbrytning beaktades också, men valdes inte för konsekvensanalys på grund av att sannolikheten för gruvbrytning bedömdes som mindre än den för borrhning. De fyra scenarierna med mänskligt intrång som analyserades var följande:

- Borrscenariot: Exponering av en medlem i borrarlaget.
- Borrkärnundersökningsscenariot: Exponering av en laborietekniker.
- Konstruktionsscenariot: Exponering av en arbetare som bygger ett hus på uppgrävt avfall.

- Bosättningsscenariot: Exponering av en boende i ett hus som är byggt på uppgrävt avfall.

Tre alternativa metoder bedömdes för att uppskatta sannolikheten för scenarierna:

- Extrapolering baserad på den historiska frekvensen av borring.
- Ett extremt konservativt antagande att konsekvenserna av intrång skulle upplevas en gång per år efter förslutning.
- En händelseträds metodik där, för varje scenario, en sekvens av händelser som leder till exponering av den inträngande individen definieras och sannolikheter tilldelas var och en av dessa händelser.

Wuschke (1991; 1992) ansåg att det inte var försvarbart att extrapolera historisk information om incidensen av borring in i framtiden över tidsskalor på tusentals år. Ett antagande av en årlig inträngandefrekvens bedömdes som osannolik. Därför användes en händelseträds metodik där tidsberoende sannolikheter definierades för varje händelse, utgående från expertbedömningar från relevanta områden. De totala sannolikheterna för scenarierna uppskattades utgående från händelsesannolikheterna och kombinerades med uppskattningar av konsekvenserna med att skapa tidsberoende uppskattningar av riskerna från intrångsscenierna.

De beräknade riskerna från dessa intrångsscenarioer låg mer än 1 000 gånger lägre än den av myndigheterna fastställda gränsen. Wuschke (1991; 1992) kom fram till att även om det är enkelt att föreställa sig synnerligen osannolika situationer där mänskliga intrång kortsluter alla naturliga och tekniska barriärer, är den faktiska risken försumbart liten. Händelseträds metodiken ansågs ha fördelarna av att explicit visa de antaganden som görs i analysen, att tillåta enkel provning av känsligheten hos riskuppskattningarna för antaganden samt att kombinera teknisk och samhällelig information.

B.2.3 Finland

Utgående från ett beslut som fattades av den finska regeringen 1983 krävdes att TVO (Teollisuuden Voima Oy) skulle föreslå lämpliga områden för detaljerade platsundersökningar för uppförande av ett slutförvar för använt kärnbränsle. Förvaret skall byggas 500 m under markytan i kristallint urberg i Fennoskandiska skölden. Det använda bränslet skall placeras i en kompositkapsel av koppar/stål, omgivet av komprimerad bentonit. En primär säkerhetsanalys, TVO-85 (Vieno et al., 1985), beaktade ett specifikt scenario med mänskligt intrång. I säkerhetsanalysen TVO-92 (Vieno et al., 1992) studerades den långsiktiga säkerheten för ett hypotetiskt slutförvar i syfte att demonstrera om de fem platserna som hade genomgått preliminära undersökningar var potentiellt lämpliga slutförvarsplatser. TILA-96-studien var en uppdatering av TVO-92 (Vieno och Nordman, 1996) och fokuserade på ett urval av dessa platser.

TVO-85

Ett scenario som innefattar framtida mänskligt intrång i slutförvaret beaktades i säkerhetsanalysen TVO-85. Scenariot beaktar möjliga doser till medlemmar i ett borrarlag som av misstag borrar igenom en behållare. I TVO-85 uppskattas sannolikheten för oavsiktlig borrhning genom en behållare till 2×10^{-8} per år. Om borrhningen inträffar vid 100 eller 1 000 år efter förslutning av slutförvaret skulle de motsvarande doserna bli 4×10^{-2} Sv/år respektive 1×10^{-4} Sv/år. Den förväntade dosen med denna analys är mycket litet, och når ett maximum av 2×10^{-11} Sv/år vid tiden 500 år, när all kunskap om slutförvarets placering kan antas ha gått förlorad.

TVO-92

I TVO-92 görs ingen detaljerad konsekvensanalys av något scenario för mänskligt intrång. Varje försök att uppskatta sannolikheten eller konsekvenserna för mänskligt intrång i slutförvaret betraktades som "mycket ungefärliga och spekulativa", i enlighet med slutsatserna i de nordiska säkerhetsmyndigheternas arbetsgrupp, Nordisk kärnsäkerhetsforskning (NKS, 1993). Oavsiktligt intrång i slutförvaret betraktades som mycket osannolikt, under förutsättning att slutförvaret ligger i ett område med låg malm- och mineralpotential, att slutförvaret var korrekt förseglat och att adekvata motåtgärder mot intrång genomförts, som exempelvis uppförande av platsmarkörer och arkivering av platsinformation. TVO-92 ansåg att avsiktligt intrång är ett ansvar som måste bäras av de individer som gör intrånget.

TILA-96

Den uppsättning scenarier som analyserades i TILA-96 liknar dem som beaktades i TVO-92 och slutsatserna med avseende på mänskligt intrång är också liknande. De tre kandidatplatserna har alla liknande geologi och ligger i områden där den lokala berggrunden har låg ekonomisk potential. Därför betraktades oavsiktligt mänskligt intrång som mycket osannolikt och beaktades inte som ett scenario inom säkerhetsanalysen.

B.2.4 Nederländerna

Det nederländska programmet OPLA (OPberging te LAnd) har arbetat med utvärderingar av saltformationer i Nederländerna som tänkbar bergformation för slutförvar för radioaktivt avfall. Man har i huvudsak genomfört skrivbordsstudier och laboratorieforskning. Emellertid ligger metodiken för scenarioutveckling relativt långt framme och probabilistiska konsekvensanalyser av scenarier som innefattar framtida mänskligt handlande har gjorts (t ex Prij et al., 1993).

PROSA (PRObabilistic Safety Assessment of geologically disposed radioactive waste – Probabilistisk säkerhetsanalys av geologiskt slutförvarat radioaktivt avfall) har antagit en systematisk top-down-procedure för scenarioutveckling, för att garantera att de mest relevanta processerna behandlas i konsekvensanalysen (Prij et al., 1993). Scenarioutvecklingsproceduren resulterade i definition av 22 scenarier som grupperades i tre familjer, var och en med ett scenario som skulle kunna betraktas som referensfall.

En av de tre scenariefamiljerna innehöll alla scenarier relaterade till mänskligt intrång. Bas-scenariot i denna familj var migrering av kontaminerad saltlösning från slutförvaret till ett närbeläget förvaringsrum, följd av krypförlutning av rummet och utträngning av saltlösningen. Andra FEP som skulle kunna resultera i utsläpp av saltlösning från förvaringsrummet kombinerades i form av tilläggs-scenarier, så som följer:

- Läckande förvaringsrum.
- Läckande förvaringsrum och prospekteringsborrning.
- Läckande förvaringsrum och utlösning-gruvbrytning.
- Läckande förvaringsrum och konventionell gruvbrytning.
- Läckande förvaringsrum och arkeologisk undersökning.

Dessa scenarier antog att ingen störande mänsklig verksamhet skulle ske tidigare än 250 år efter deponering. Doserna beräknades utgående från modeller av intrångsverksamheten (exempelvis utlösning-gruvbrytning eller direkt brytning) och av mänsklig exponering (t ex inandning eller förtäring). Konsekvensanalyser för de flesta scenarier med mänskligt intrång i PROSA baserades på tidigare VEOS-bedömningar (Prij et al., 1987), den säkerhetsstudie som genomfördes under fas 1 av OPLA. Inga försök gjordes att uppskatta scenariots sannolikheter eftersom man bedömde att de låga beräknade doserna inte motiverade någon betydande ansträngning i denna riktning. Emellertid var doserna högre i scenarierna med mänskligt intrång än i några av de andra scenarierna för vilka konsekvensanalyser utfördes.

B.2.5 Spanien

Den senaste tillgängliga informationen med avseende på hantering av framtida mänskligt handlande i det spanska programmet för hantering av radioaktivt avfall finns i en ENRESA-rapport, som beskriver en säkerhetsanalys för en generell plats i granitberggrund (ENRESA, 1997). I denna studie presenteras ett systematiskt arbetssätt för definition av scenarier. Processen började med sammanställning av 277 FEP (benämnda "faktorer"), vilka reducerades till 121 genom att ta bort alla biosfär-FEP (vilka bedömdes som liggande utanför omfattningen av analysen) och borttagning av duplicerade eller irrelevanta FEP. Ytterligare sällning minskade antalet FEP till 100, indelade i en undergrupp på 60 FEP vilka bedömdes ha sannolikheten 1 och en undergrupp på 40 FEP vilka bedömdes ha en sannolikhet understigande 1. De 60 FEP ansågs definiera ett referenssystem, medan de 40 FEP bedömdes som liggande utanför referenssystemet. Mänskligt intrång var ett av de 40 externa FEP.

De 40 uteslutna FEP kunde kombineras med referenssystemet på 60 FEP för att definiera många alternativa scenarier. I ENRESA-bedömningen (1997) analyserades emellertid endast tre scenarier. Ett av dessa var referensscenariot inklusive de 60 FEP med sannolikheten 1. Två andra scenarier valdes för kvantitativ analys, nämligen: "Mänskligt intrång; vattenbrunn" och "Slutförvar med bristande tätningar". Scenariot med mänskligt intrång innefattade en brunn som tar upp vatten från ett 200 m djupt borrhål för hushållsförbrukning. Observera att detta scenario inte innefattar penetrering av själva slutförvaret.

Brunnen påverkade både de hydrologiska förhållandena i slutförvarets närhet och den hastighet med vilket grundvattnet strömmar genom slutförvaret. Inga försök gjordes att uppskatta sannolikheten för detta scenario eller för att betrakta andra former av mänsklig verksamhet, som exempelvis prospekteringsborrning.

B.2.6 Sverige: SKB – SR 95

Vi har gett en djupare analys av SKB:s arbete med avseende på framtida mänsklig verksamhet, dels därför att SKB är den organisation som SKI har tillsyn över, dels därför att SKB har beaktat denna fråga särskilt noga. Den av SKB föreslagna metodiken för scenario-konstruktion innefattade följande steg (SKB, 1995):

- En systematisk beskrivning av de FEP som kan påverka slutförvarets funktion och deras koppling till varandra via konstruktion av flera interaktionsmatriser.
- En metod för att dokumentera interaktionsmatriserna, inklusive koppling till FEP-databasen.
- Beskrivning och motivering av scenarier.
- Kvalitativ analys med hjälp av interaktionsmatrisen. Dokumentation av hur interaktionsmatriserna förändras för olika scenarier.

Interaktionsmatriserna konstruerades i syfte att visa att ingen FEP hade förbigåtts och för att identifiera viktiga interaktioner och interaktionsvägar. Matriserna ansågs även leda till bättre förståelse för systemet och till förenklad kommunikation mellan experterna. Scenariovalet gjordes inte direkt från interaktionsmatriserna utan gjordes välavvägt av en expertpanel som använde matriserna som checklistor så snart scenarierna hade valts. De valda scenarierna klassificerades beroende på om de påverkade funktionen för slutförvaret genom att ändra eller påverka de initiala förhållandena, berggrundens beteende eller grundvattnets beteende.

Scenarierna vars initierande händelser är konsekvenser av mänsklig verksamhet benämndes "framtida mänskligt handlande-scenarier" (FHA-scenarier). Den faktiska proceduren för att analysera FHA-scenarier varierade beroende på typen av initierande händelser. Vid analys av FHA-scenarier beaktades fyra faktorer:

- (i) Påverkan, dvs. hur slutförvarets prestanda påverkas av mänsklig verksamhet. Mänsklig verksamhet delades in i följande två grupper med avseende på grad av inverkan:
 - Direkt intrång i det radioaktiva avfallet. I praktiken innebär det att en eller flera av barriärerna kortsluts fullständigt. Analysen kan göras i form av en standardiserad riskbedömning där både sannolikhet och konsekvenser uppskattas. SKB anser att de antaganden som behövs för att göra en sådan analys alltid är subjektiva och därför att resultaten av sådana analyser endast kan betraktas som illustrativa.

- Indirekt inverkan på barriärernas funktion. Exempel på mänsklig verksamhet som har direkt inverkan är global uppvärmning och intensivt jordbruk. Barriärerna kan påverkas av förändrade förhållanden i berggrunden eller i grundvattnet. Scenarier skall analyseras genom kvalitativ diskussion som stöds av brett upplagda beräkningar.
- (ii) Syfte, dvs. om intrånget är avsiktligt eller oavsiktligt. Syftet är nära kopplat till kunskap om slutförvaret och avfallet [se (iii) nedan]. Förutom sabotage [se (iv) nedan], anser SKB att det inte finns något behov av att hantera avsiktligt intrång i säkerhetsanalyser. Om intrånget är oavsiktligt antas att de som utför intrånget har ofullständig kunskap om slutförvaret eller dess innehåll. Oavsiktligt intrång kan ha direkt eller indirekt verkan.
- (iii) Kunskap hos dem som påverkar slutförvaret, avseende såväl själva slutförvaret som den allmänna kunskapsnivån vid tillfället. Sannolikheten för mänskligt intrång och konsekvenser av sådant intrång är kopplad till kunskapen som framtida generationer har om slutförvaret, dess innehåll och dess radioaktivitet.
- (iv) Avsikt, dvs. om de som påverkar slutförvaret har goda eller dåliga avsikter. Konsekvenserna av intrånget beror på den inträngandes avsikter och SKB anser att det är slutförvarskonstruktörens ansvar att bygga ett system som inte är känsligt mot sabotage.

SKB anser att framtida mänskliga ingrepp i slutförvaret inte kan förutsägas och att FHA-scenarier bör betraktas som illustrationer av tänkbara situationer. Valet av scenarier måste till en del byggas på slutförvarets konstruktion och funktion, vilka har tagit hänsyn till möjligheterna av framtida mänsklig verksamhet. Några exempel på krav där mänsklig verksamhet har beaktats tillsammans med konstruktion och lokalisering av slutförvaret är följande:

- Slutförvarets funktion får inte vara beroende av övervakning eller institutionell övervakning.
- Avfallet skall vara återtagbart.
- Återfyllnaden skall placeras så att den inte på ett enkelt kan penetreras eller flyttas.
- Värdefulla eller ovanliga material skall inte användas i de tekniska barriärerna eftersom detta skulle kunna uppmuntra till mänskligt intrång.
- Slutförvaret skall inte lokaliseras i berg som innehåller värdefulla mineraler.
- Slutförvarsdjupet skall vara tillräckligt stort för att göra mänskligt intrång osannolikt.

Som exempel presenterade SKB (1995) resultaten av en riskbedömning av ett scenario där ett djupt borrhål tränger igenom en behållare och exponerar borrhjälperpersonalen för radioaktivt material. Analysen var avsedd att fungera som ett illustrativt exempel på ett tänkbart FHA-

scenario och en möjlig analysmetod. Med avseende på de fyra faktorer som diskuterats ovan motsvarar detta scenario en situation där inverkan är direkt (samtliga barriärer har kortslutits), där syftet är oavsiktligt, där kunskapsnivån liknar den idag och där avsikten inte är ond.

Sannolikheten för genomborrning av en behållare bedömdes genom att beakta tre oberoende faktorer:

- Sannolikheten för att borrharna inte har någon kunskap om slutförvaret och dess innehåll.
- Sannolikheten för att borrhålet utförs inom området för slutförvaret.
- Sannolikheten för att borra igenom en behållare om borrhålet ligger inom slutförvarets område.

Uppskattade sannolikheter ges i tabell B.1. Uppskattningen av doser till borrhare beror på flera oberoende faktorer:

- Mängden avfall och avfallets koncentration av radionuklider.
- Hur människor kommer i kontakt med avfallet.
- Exponeringstid.
- Borrningsmetod.
- Avstånd och position hos exponerade individer med avseende på återtaget avfall.

SKB anser att var och en av dessa faktorer endast kan uppskattas utgående från spekulativa antaganden, vars vikt måste utvärderas och kvantifieras. Figur B.1 illustrerar några av de antaganden som gjordes i detta exempel med avseende på positionen hos en exponerad människa i förhållande till de olika strålkällorna (borrkärna, kontaminerad mark och kontaminerade kläder). Figur B.1 visar även bidragen från de olika strålkällorna till totaldosen.

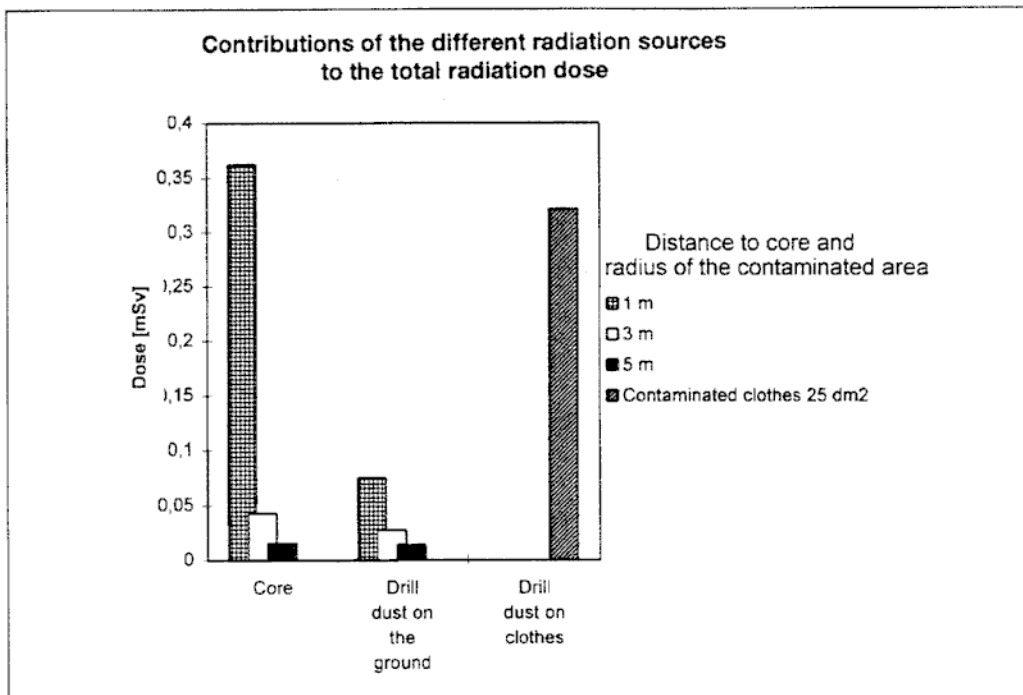
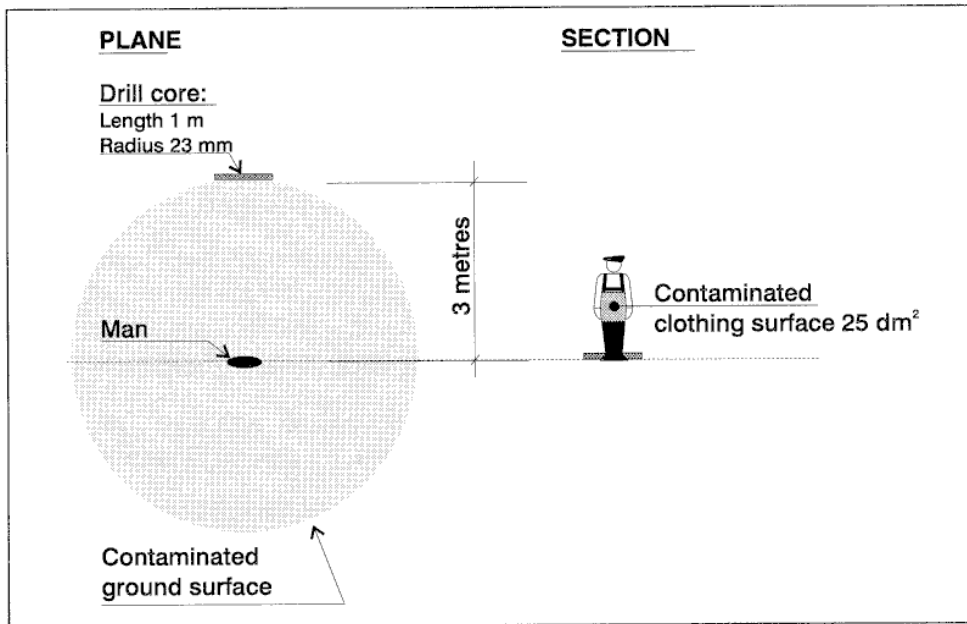
Den maximala risken per borrar hål befanns ligga i storleksordningen 10^{-12} och sker 500 år efter förslutning av slutförvaret, vid en tid när kunskapen om slutförvarets existens kan antas ha gått förlorad. Omvandling av detta till en årlig individrisk kräver antaganden med avseende på antalet borrhål som en borrhare kan tänkas borra under ett år. SKB ansåg att detta var för spekulativt men konstaterade att mer än 100 000 borrhål skulle krävas för att överskrida acceptabla risknivåer. Andra slutsatser som drogs från analysen var följande:

- Borrning genom en behållare är en händelse som inte kan försummas sett till uppskattade konsekvenser.
- Sannolikheten att någon skulle borra genom en behållare bedöms vara liten, i storleksordningen 10^{-7} per år.

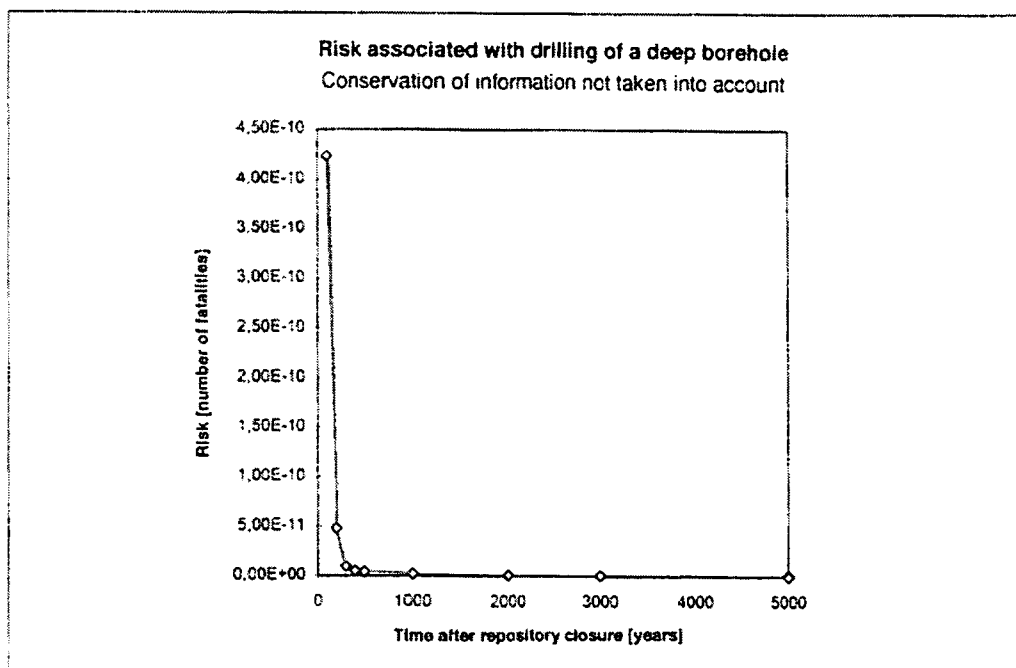
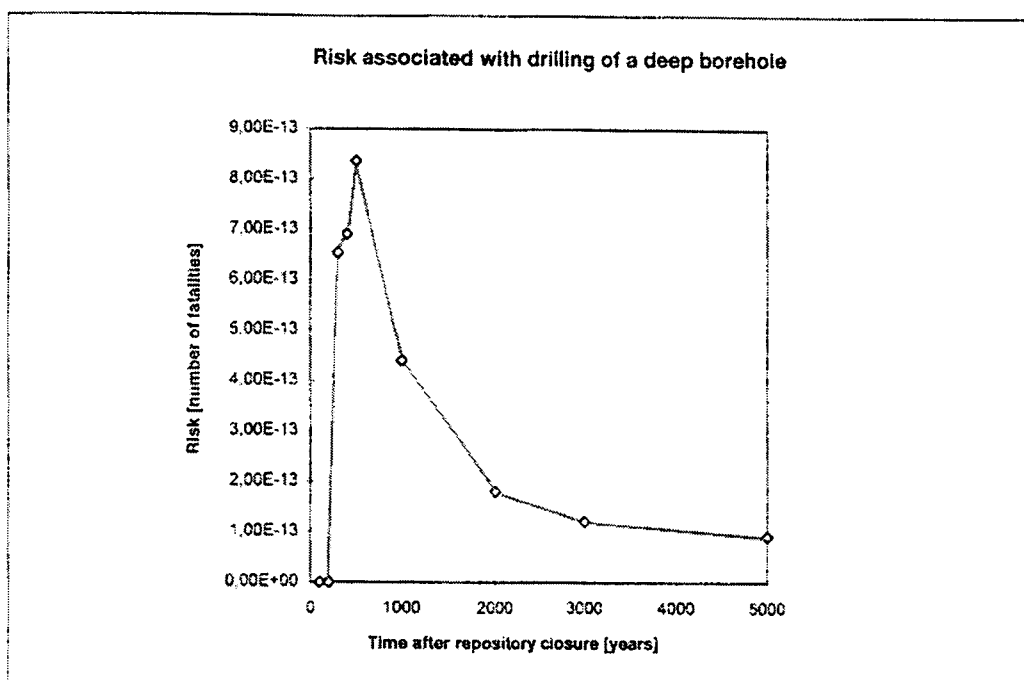
Den maximala risken påverkas i hög grad av valet av den tid efter vilken kunskapen om slutförvarets existens kan antas ha gått förlorad. Som ett exempel illustrerar figur B.2 förändringen av risken med tiden för två fall, ett som innebär att all kunskap har gått förlorad efter 500 år och en där all kunskap har gått förlorad vid tiden för förslutning av slutförvaret. Den maximala risken är ca 10^4 gånger högre i fallet där kunskap om slutförvaret antas ha gått förlorad vid tiden för förslutning av slutförvaret. SKB ansåg att det var värt att försöka bevara kunskapen om slutförvarets existens under så lång tid som möjligt i syfte att minska risken för denna typ av scenarier med mänskligt intrång.

Händelse	Sannolikhet
Borrpersonalen har ingen kunskap om slutförvaret och dess innehåll	0 under de första 200 åren 1 efter 500 år Linjär ökning från 0 till 1 under perioden mellan 200 och 500 år
Borrhålet ligger inom slutförvarsområdet	10^{-5}
Borrhålet penetrerar en behållare	10^{-2}

Tabell B.1 Uppskattade sannolikheter för borring genom en avfallsbehållare i SKB:s scenario med mänskligt intrång (SKB, 1995).



Figur B.1 Övre diagrammet: Illustration av några av de antaganden som görs i SKB:s exempelberäkningar med avseende på positionen för en exponerad människa i förhållande till de olika strålkällorna (borrhärdar, kontaminerad mark och kontaminerade kläder). Nedre diagrammet: Bidragen från de olika strålkällorna till totaldosen (enligt SKB, 1995).



Figur B.2 Illustration av riskförändringen över tiden för två av SKB:s exempelberäkningar, en där all kunskap om slutförvaret har gått förlorad efter 500 år (övre diagrammet), och en där all kunskap har gått förlorad vid tiden för förslutning av slutförvaret (nedre diagrammet) (enligt SKB,

B.2.7 Schweiz

NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle – Nationella samarbetsorganisationen för förvaring av radioaktivt avfall) har genomfört en utvärdering av slutförvaring av högaktivt radioaktivt avfall i det kristallina urberget i norra Schweiz (Kristallin-I), inkluderande systematisk identifiering, klassificering och sållning av FEP, samt definition av multipla scenarier, bland annat sådana som innefattar framtida mänsklig verksamhet (NAGRA, 1994).

I Kristallin-I definierades ett referensscenario som skulle fungera som grund för en uppsättning av referensberäkningsfall. Flera alternativa scenarier utvecklades, utgående från variationer i parametervärden kopplade till FEP som redan ingick i referensscenariot, och/eller från tillägg av FEP som inte ingick i referensscenariot. Dessa FEP gav potentiellt upphov till alternativa scenarier, klassificerade i tre grupper. En grupp inkluderade alla FEP som hade att göra med framtida mänsklig verksamhet, nämligen:

- Föroreningar av grundvatten, ytvatten och mark.
- Djupborrade grundvattenbrunnar.
- Vattenhanteringssystem.
- Gruvbrytning och djupborrning.
- Exploatering av geotermisk energi.

Var och en av dessa FEP utvärderades noggrant. I de fall som inverkan av olika alternativa tillstånd för varje FEP bedömdes tillräckligt viktig och relevant för Kristallin-I, utvecklades det tillhörande alternativa scenariot ytterligare och beskrevs i närmare detalj, varefter det genomgick en konsekvensanalys. Slutförvarsmiljön i Kristallin-I betraktades som sådan att den skulle isolera slutförvaret från olika typer av miljöförändringar på markytan, vilket gjorde det möjligt att sälla bort flera FEP som hade att göra med framtida klimatförändringar och mänsklig verksamhet. Som resultat återstod endast en FEP som hade samband med framtida mänskligt handlande (djupborrade brunnar), vilken måste utvecklas till ett alternativt scenario för konsekvensanalys.

I scenariot med djupborrad brunn antas radionuklider tränga in i upptagningsområdet för en djupborrad brunn i det kristallina urberget med hög permeabilitet. I sammanhanget antogs, konservativt, att samtliga radionuklider skulle finna vägen till brunnen. Pumpflödet i brunnen antogs vara 10^5 gånger större än flödet genom slutförvarsregionen i referensscenariot. Biosfärmodellen modifierades något för att kunna beräkna doserna, vilka alla låg väl under myndigheternas riktlinjer. Den största dosen härrör från ^{135}Cs .

B.2.8 Storbritannien

United Kingdom Nirex Limited (Nirex) ansvarar för utveckling av ett djupt geologiskt slutförvar för fast medelaktivt och en del lågaktivt radioaktivt avfall i Storbritannien. 1991

valdes en potentiell plats i en sprickrik region med vulkaniskt ursprung i Sellafield, West Cumbria. Från 1991 till 1997, när tillståndet för en underjordisk bedömningsanläggning (RCF – Rock Characterisation Facility) avslogs, fokuserade såväl platsbedömning som säkerhetsanalysundersökningar på denna plats. Nirex har publicerat en serie säkerhetsanalysdokument med avseende på Sellafield (t ex Nirex, 1997), och en rapport som specifikt behandlar mänskligt intrång (Nirex, 1995).

Nirex anser att ett antal scenarier med mänskligt intrång behöver utvärderas. Exempelvis skulle dessa kunna täcka situationer där människor tränger direkt in i slutförvaret, eller där de tränger in i den del av geosfären där radionuklider migrerar. Nirex gav exempel på två kategorier av scenarier som täcker dessa möjligheter:

- Prospekteringsborrningsscenarier, inkluderande borrhpersonal, laboratoriepersonal och lokalboende, vilka exponeras för radionuklider som förs upp till ytan i samband med borrning och uttag av borrhkärnor.
- Regionala brunnsscenarier, med uttag av grundvatten från områden av geosfären där radionuklider har transporterats. Detta vatten skulle senare kunna komma att användas som dricksvatten, bevattning av grödor och för anpassning av flodflöden för industriella ändamål.

Intrång skulle även kunna resultera i förändringar av andra transportvägar för radionuklider. Sådana tillkommande inverkningar skulle dokumenteras och utvärderas inom ramen för en systematisk scenarioanalys. Inga avsiktliga intrång beaktades av Nirex (1995) eftersom man ansåg att ansvaret för avsiktligt intrång skulle ligga hos den inträngande.

Nirex (1995) uppskattade frekvensen för framtida mänskligt intrång utgående från dagens teknik och demografi. Borrfrekvenserna baserades på aktuella eller historiska data för platsen i sig själv eller för ett analogt område med liknande geologiska egenskaper som platsen i fråga. Borrfrekvenserna uppskattades som funktion av borrhålsdjupet. Sannolikheten för att en brunn skulle tränga igenom det kontaminerade området uppskattades med hänsyn tagen till befolkningstätheten.

Nirex utvärderade även potentialen för att bergarterna omkring slutförvarets, the Borrowdale Volcanic Group (BVG), skulle prospekteras med avseende på naturresurser, och kom fram till att det idag finns få skäl till borrning i BVG. Med tanke på dagens samhällseliga och ekonomiska förhållanden skulle borrning kunna bli aktuellt av följande skäl:

- För forskningsändamål.
- För prospektering med avseende på guld eller andra värdefulla metaller.
- För undersökningar av geofysiska anomalier orsakade av slutförvaret, om undersökarna skulle vara okunniga om slutförvarets natur och syfte.

Intrång i geologiska skikt ovanför BVG ansågs mera sannolika, av skäl som exploatering av vattenresurser, brytning av sandsten, sand och grus samt prospektering efter olja, gas och järnmalm.

Nirex ansåg att institutionell övervakning skulle vara effektiv för att förebygga mänskligt intrång under perioden kort efter förslutning av slutförvaret. Övervakning skulle kunna åstadkommas genom att upprätthålla lokala arkiv, planera övervakande åtgärder, kontinuerligt ägarskap till platsen via en lämplig myndighet, villkor kopplade till platsens tillstånd för kärntekniska verksamhet samt underhåll av lämpliga markörer. Emellertid kan effektiviteten för institutionell övervakning inte garanteras. Fortsatt kunskap om slutförvaret och dess innehåll skulle kunna uppnås genom att arkivera informationen i bibliotek, markera slutförvaret på lämpliga kartor, lagra information i relevanta arkiv samt skapa ett arkiv på plats som är konstruerat att finnas kvar under lång tid.

Inga konsekvensberäkningar med avseende på scenarier med mänskligt intrång har ännu gjorts av Nirex. Som exempel har Nirex emellertid illustrerat en metodik som skulle kunna användas för att beräkna doser och risker kopplade till scenarier med prospekteringsborrning och scenarier med borrning av regionala brunnar.

Scenarier med prospekteringsborrning:

Nirex (1995) antog att de doser som skulle tas emot skulle vara proportionella mot volymen av material som tas ut från borrhålet och att det är möjligt att uttrycka den årliga sannolikheten för exponering utgående från en djupberoende frekvens av borrade hål per ytenhet. Utgående från dessa två antaganden skulle den totala årliga risken från en viss radionuklid vid en viss tid kunna fastställas genom att dela upp den kontaminerade regionen i skikt inom vilka borrhälets frekvens är konstant och beräkna den risk som är kopplad till varje sådant skikt.

Scenarier med regionala brunnar:

Brunnsdjup och uttagsflöde måste specificeras, liksom användningsområdet för det uttagna vattnet. Sannolikheten för att brunn skulle gå igenom ett område där radionuklider har transporterats kan uppskattas och enkla biosfärmodeller användas för att uppskatta dosen som funktion av koncentrationen av radionuklider i uttaget vatten, eller som funktion av radionuklidflödet till en brunn med en specificerad uttagshastighet.

B.2.9 USA

WIPP (Waste Isolation Pilot Project)

Flera studier kring scenarier med mänskligt intrång har genomförts i USA, avseende såväl HLW som L/ILW-slutförvar i saltformationer. De senaste och mest detaljerade studierna har varit kopplade till utvecklingen av en säkerhetsredovisning för WIPP i New Mexiko. DOE har utvecklat WIPP för slutförvaring av transurant radioaktivt avfall i en saltformation ca 650 m under markytan. I oktober 1996 överlämnades WIPP CCA (DOE, 1996) till EPA. I maj 1998 certifierade EPA WIPP:s överensstämmelse med kriterier och normer enligt föreskriften 40 CFR Part 191, Subparts B och C, samt 40 CFR Part 194 (EPA, 1998). DOE:s säkerhetsanalys tillämpade ett probabilistiskt arbetssätt och detta, samt scenario-utvecklingsprocedurerna som är kopplad till det, beskrivs i CCA (DOE, 1996).

Scenarioutvecklingen för WIPP baserades på systematisk identifiering, sållning och kombination av FEP för att bilda ett scenario för ostörd funktion och flera scenarier för störd funktion. Ostörd funktion definieras som "...förutsatt uppträdande hos ett slutförvarssystem, inklusive beaktande av osäkerheter i förutsatt uppträdande, om slutförvarssystemet inte störs genom mänskligt intrång eller osannolika naturliga händelser". För ostörd funktion måste effekterna av pågående mänsklig verksamhet i närheten av slutförvarssystemet beaktas. Systematisk analys av mänskligt handlande ledde till eliminering från säkerhetsanalysberäkningarna av all pågående mänsklig verksamhet utom gruvbrytning utanför det övervakade området, vilket inkluderades i scenariot för ostörd funktion.

De enda störande händelser som beaktades och bedömdes kräva ytterligare bedömning utanför scenariot för ostörd funktion var framtida mänskligt handlande. För utvärdering av konsekvenserna av störd funktion definierade DOE ett gruvbrytningsscenario, M, ett djupborrningsscenario, E, samt ett kombinerat gruvbrytnings- och borrhåsscenario, ME.

Gruvbrytningsscenario med störd funktion (M)

Gruvbrytningsscenario med störd funktion, M, innefattar framtida gruvbrytning inom det övervakade området på WIPP-platsen. I enlighet med de kriterier som ges av EPA begränsas effekterna av potentiell framtida gruvbrytning inom det övervakade området till marksättningsinducerade förändringar i den hydrauliska konduktiviteten hos Culebra-formation, som ligger ovanför slutförvaret och som är det mest konduktiva skiktet i regionen. Radionuklidtransporten kan påverkas i M-scenario om huvudgradienten mellan deponeringsområdet ("disposal panels") och Culebra-formationen tvingar saltlösning, kontaminerad med radionuklider, att strömma från deponeringsområdet i slutförvaret till botten av schakten och upp genom schakten till Culebra-formationen. Förändringarna i Culebra-formationens transmissivitetfält kan påverka hastigheten och riktningen för radionuklidtransport inom Culebra-formationen. Det modelleringsystem som används för M-scenario liknar det som utvecklats för scenariot med ostörd funktion, men med ett modifierat Culebra-transmissivitetfält inom det övervakade området, i syfte att ta hänsyn till inverkan av gruvbrytning.

Djupborrningsscenario med störd funktion (E)

Djupborrningsscenario med störd funktion, E, innefattar minst en djupborrningshändelse som tränger igenom slutförvarsregionen. Om ett borrhål tränger igenom avfallet i slutförvaret kan utsläpp till åtkomlig miljö ske via material som fångas upp i den cirkulerande borrhåsvätskan och förs upp till ytan. Partikelformat avfall som förs upp till ytan kan innefatta skärspån, erosionsmaterial och flagor. Skärspån är material som skärs loss av borrhåsvätskan då den tränger igenom avfallet. Erosionsmaterial är material som eroderas loss av borrhåsvätskan i det cirkulära utrymmet kring borrhåsvätskan. Flagor är material som kan tvingas in i den cirkulerande borrhåsvätskan om det finns tillräckligt tryck i det direkta deponeringsområde som penetreras.

Under borrning kan kontaminerad saltlösning strömma upp genom borrhålet och nå ytan, beroende på vätsketrycket i de delar där avfallet slutförvaras. När borrhålet överges förutsätts det förseglas på ett sätt som motsvarar dagens metoder i Delaware-bäckenet. Ett övergivet borrhål som tränger igenom ett slutförvar och som karakteriseras av bristande väggar

och/eller proppar kan fungera som transportväg för vätska och kontaminerade partiklar från det genomträngda deponeringsområdet till markytan, om vätsketrycket inom området är tillräckligt mycket större än det hydrostatiska trycket. Dessutom, om saltlösning strömmar genom borrhålet till överliggande skikt, som Culebra-formationen, kan det föra med sig utlösta och kolloidala aktinider som sedan kan transporteras i sidled till åtkomlig miljö via det naturliga grundvattenflödet i de överliggande skikten.

De skikt som trängs igenom av ett borrhål kan innebära källor för saltlösning till ett deponeringsområde under eller efter borrning. Exempelvis innehåller vissa stratigrafiska skikt i norra Delaware-bäckenet isolerade volymer av saltlösning vid ett vätsketryck som överstiger det hydrostatiska trycket. Framför allt i Castile-formationen finns reservoarer med löst salt under tryck som ligger under slutförvarsnivån. Om ett borrhål skulle tränga igenom en sådan reservoar i Castile-formationen skulle det ge upphov till en väg för flöde av saltlösning till deponeringsområdet, vilket skulle öka vätsketrycket och volymen av saltlösning i deponeringsområdet.

DOE har definierat två typer av djupborrningshändelser, beroende på om borrhålet tränger igenom en reservoar med saltlösning i Castile-formationen eller ej. Ett borrhål som tränger igenom ett deponeringsområde i slutförvaret och penetrerar en reservoar med saltlösning i Castile-skiktet har betecknats som en E1-händelse. Ett borrhål som tränger igenom ett deponeringsområde i slutförvaret men som inte penetrerar en reservoar med saltlösning har betecknats som en E2-händelse. I syfte att utvärdera konsekvenserna av framtida djupborrnings har DOE delat in E-scenariot i tre underscenarioer med borrning, E1, E2 och E1E2, betecknade i enlighet med numren på borrningshändelserna E1 och E2 som antas ske inom den tid då övervakning pågår:

- *Scenariot E2:* Scenariot E2 är det enklaste scenariot för oavsiktligt mänskligt intrång i ett deponeringsområde. Ett deponeringsområde trängs igenom av en borrhål, varvid transport av skärspån, erosionsmaterial, flagor och saltlösning inleds. Saltlösningens flöde kan ske i borrhålet efter att det har förseglats och övergett. Ett modelleringsystem har utvecklats för att utvärdera konsekvenserna av ett E2-scenario under vilket en eller flera E2-händelser inträffar.
- *Scenariot E1:* Varje scenario med en enstaka oavsiktlig penetrering av ett deponeringsområde, vilken också penetrerar en reservoar med saltlösning, kallas E1. Reservoaren är den dominerande källan till saltlösning i detta scenario. Modellkonfigurationen som har utvecklats för E1-scenariot används för att utvärdera konsekvenserna av framtider som bara innefattar en E1-händelse per deponeringsområde. En framtid under vilken mer än en E1-händelse inträffar i ett enstaka deponeringsområde beskrivs som ett E1E2-scenario.
- *Scenariot E1E2:* E1E2-scenariot definieras som varje framtida utveckling som innefattar multipla penetreringar av ett deponeringsområde och som innefattar minst en penetrering av E1-typ. E1E2-scenariot kan innefatta många tänkbara kombinationer av intrångstider, platser, och typer för en händelse (E1 eller E2). Källorna till saltlösning i detta scenario är de som gäller för E1-scenariot och multipla källor av typ E1 kan föreligga. E1E2-scenariot har potentiellt en flödesväg som inte finns i E1 eller E2-scenarioer: flöde från ett E1-borrhål genom avfallet till ett annat borrhål.

Flödesvägen har potentialen att (i) föra stora mängder saltlösning till direkt kontakt med avfallet och (ii) skapa en mindre restriktiv transportväg för denna saltlösning till överliggande stratigrafiska skikt, i jämförelse med såväl E1- som E2-scenarierna. Både närvaron av reservoarer med saltlösning och potentialen för flöde genom avfallet till andra borrhål gör detta scenario annorlunda sett till potentiella konsekvenser från kombinationer av E2-borrhål. Omfattningen av flöde mellan borrhålen, enligt uppskattning genom modellering, avgör om kombinationer av E1- och E2-borrhål vid specifika platser i slutförvaret skall behandlas som E1E2-scenario eller som oberoende E1- och E2-scenarier i konsekvensanalysen. På grund av antalet möjliga kombinationer av borrhändelser skiljer sig modelleringskonfigurationen för E1E2-scenariot på avgörande sätt från den modellkonfiguration som används för utvärdering av E1- och E2-scenarier.

Djupborrnings- och gruvbrytningsscenario med störd funktion (ME)

Både gruvbrytning vid WIPP-platsen (M-scenariot) och djupborrning (E-scenariot) kan inträffa i framtiden. DOE kallar en framtid där båda dessa händelser sker för ME-scenario. Inträffande av såväl gruvbrytning som djupborrning ger inte upphov till några processer förutom de som redan beskrivits separat för M- och E-scenarierna. ME-scenariot är distinkt så tillvida att kombinationen av transport via borrhåls till Culebra-formationen (E) och ett transmissivitetfält som påverkas av gruvbrytning (M) kan resultera i snabbare transport av radionuklider till den åtkomliga miljön. T ex, eftersom M-scenariot inte innefattar borring, är den enda transportvägen för radionuklider till Culebraformationen genom de förseglade schakten. För att tydligare presentera de datorberäknade resultaten delades ME-scenariot in i WIPP CCA utgående från typerna av djupborrningsdelscenarier. Därmed definierades ME1-scenariot (M och E1), ME2-scenariot (M och E2) och ME1E2-scenariot (M och E1E2).

Systemet som används för att modellera flöde och transport i Culebraformationen för ME-scenariot liknar det som används för E-scenariot. I ME-scenariot modifieras emellertid Culebra-transmissivitetfältet för att ta hänsyn till inverkan av gruvbrytning inom det övervakade området.

Yucca Mountain

Yucca Mountain i Nevada undersöks för närvarande med avseende på sin lämplighet som plats för slutförvaring av HLW. Det potentiella slutförvaret skulle komma att ligga en formation av tuff i den omättade zonen. Framtagningen av scenarier för framtida utveckling av slutförvarssystemet beskrivs i flera nyligen genomförda säkerhetsanalyser -totala systemfunktionsanalyser (TSPA) (t ex Wilson et al., 1994; TRW, 1995; EPRI, 1996).

Utveckling och modellering av scenarier för framtida mänskligt handlande har inte fått lika mycket uppmärksamhet inom Yucca Mountain-programmet som i WIPP. För Yucca Mountain-TSPA har ett scenario med mänskligt intrång analyserats, avseende direkt utsläpp av radionuklider till ytan som följd av borring genom en avfallsbehållare eller kontaminerat berg (Wilson et al., 1994). I båda fallen modellerades den direkta förflyttningen av föroreningar till ytan och doserna beräknades. Fyra grundanalyser gjordes, med antagande av att mängden avfall som släpps ut från en genombruten avfallsbehållare har en jämn

fördelning från 0 till 100 %. Inga av dessa beräkningar påvisade utsläpp som översteg EPA:s kumulativa utsläppsgränser i 40 CFR Part 191.

Mänskligt intrång exkluderades från de senaste EPRI TSPA (EPRI, 1996) på grund av svårigheten i att kvantifiera de relativa sannolikheterna, som sannolikheten för borring. EPRI TSPA innefattar en modell för behållarhaveri som ger utrymme för möjligheten att en eller två behållare havererar kort tid efter förslutning av slutförvaret. Även om sådana tidiga haverier antas bero på tillverkningsbrister anser EPRI att det även skulle betecknas som analoga med mänskligt intrång, varför ingen ytterligare analys av scenarier med mänskligt intrång gjordes.