

R-98-54

Scenarier baserade på mänskliga handlingar

Tre arbetsmöten om metod- och säkerhetsanalysfrågor

Lena Morén

Svensk Kärnbränslehantering AB

Tom Ritchey, Maria Stenström

Försvarets Forskningsanstalt

December 1998

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00

+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19

+46 8 661 57 19



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-98-54

Scenarier baserade på mänskliga handlingar

Tre arbetsmöten om metod- och säkerhetsanalysfrågor

Lena Morén

Svensk Kärnbränslehantering AB

Tom Ritchey, Maria Stenström

Försvarets Forskningsanstalt

December 1998

Nyckelord: radioaktivt avfall, framtida mänskliga handlingar, scenarier, säkerhetsanalys, strategi och metod, tekniska aspekter, samhällseliga aspekter, morfologisk analys

1 Inledning

Vid granskningen av SKBs (Svensk Kärnbränslehantering AB) program för forskning, utveckling och demonstration – FUD 95 – påpekade SKI (Statens kärnkraftinspektion) att SKB:

”... måste utveckla en egen strategi för hur frågor om mänskligt intrång ska hanteras i kommande säkerhetsanalyser.”

SKI menade vidare att det arbete som genomförts inom OECD/NEA (Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency) /1-1/ bör kunna utgöra en grund för arbetet med strategin.

SKB har valt att utvidga ”mänskligt intrång” till ”mänskliga handlingar som kan påverka förvar för radioaktivt avfall”. I säkerhetsanalysen beskrivs de i ”scenarier baserade på mänskliga handlingar”.

Framtida mänskliga handlingar som kan påverka ett förvars säkerhet är ett omdebatterat ämne. En orsak till det är att de omfattar frågor runt samhällets långsiktiga utveckling och framtida människors beteende. Frågor vars svar inte går att finna med gängse vetenskapliga metoder. Det går t ex inte att förutsäga kunskap som inte existerar idag, och kunskap bedöms vara en nyckelfaktor i sammanhanget. Arbetet med scenarier baserade på mänskliga handlingar måste baseras på dagens kunskaper, inhämtade från människor som lever och verkar idag. En ambition har varit att infoga erfarenheter från människor verksamma inom ett brett spektra av olika relevanta områden. För att åstadkomma det har arbetsmöten (workshops) med olika teman genomförts. Människor med olika bakgrund och kunskaper har bjudits in till mötena. Totalt har tre arbetsmöten genomförts:

1. Skebo Herrgård 9–10 december 1997
2. IVA 25 mars 1998
3. Frösundavik 28–29 maj 1998

Resultaten från det första arbetsmötet ledde till att en strategi formulerades. På de båda andra arbetsmötena genomfördes delar av strategin.

Denna rapport innehåller redovisningarna från de tre arbetsmötena. Redovisningarna från Skebo och IVA är skrivna av Lena Morén (SKB) och redovisningen från Frösundavik är skriven av Tom Ritchey (FOA) och Maria Stenström (FOA). Ambitionen har varit att så långt möjligt redovisa de synpunkter som framkommit under respektive möte. Även om deltagarna lämnats tillfälle att kommentera redovisningarna är både formuleringar och urval av synpunkter författarnas.

2 Skebo Herrgård 9 – 10 december 1997

2.1 Inledning

Arbetsmötet (workshopen) hade två huvudsakliga syften: dels att stöda valet av scenarier baserade på mänskliga handlingar i pågående säkerhetsanalys, dels att bidra med underlag till en metod att formulera och hantera sådana scenarier. Deltagare med olika bakgrund hade inbjudits till mötet. Ett tredje syfte med arbetsmötet var just att ta del av och infoga synpunkter från personer som inte dagligen arbetar med frågor runt radioaktivt avfall. En lista över deltagarna och deras arbetsområden finns i bilaga A.

Under mötet arbetade man i tre grupper. Två mindre arbetsgrupper med 6 (grupp A) respektive 5 (grupp B) personer i varje och en storgrupp med alla 11 deltagare. Även gruppindelningen framgår av bilaga A. En stor del av diskussionerna genomfördes i de mindre grupperna. I den större gruppen redovisades och diskuterades slutsatserna från de mindre grupperna. Inledningsvis diskuterades faktorer som kan påverka framtida mänskliga handlingar på förvarsplatsen, och vad som skulle kunna utlösa en handling som påverkar förvarets säkerhet. Vilka typer av aktiviteter som kan påverka säkerheten diskuterades också. Vidare skissades situationer då olika typer av handlingar genomförts.

Redovisningen nedan är strukturerad efter författarens huvud. Kapitel och avsnittsindelning är gjord med hänsyn till vad författaren bedömt vara viktigt mot bakgrund av arbetsmötets syften. De ståndpunkter som redovisas har på olika sätt presenterats under arbetsmötet, de kan vara allt från individuella synpunkter till gemensamma ståndpunkter i de olika grupperna.

2.2 Allmänt

Det primära bedömdes vara att utreda varför en störande handling genomförs och de samhälleliga förhållanden som råder vid tidpunkten för störningen. Den mer detaljerade beskrivningen av själva handlingen (t ex hur man borrar) och dess effekter på förvaret bedömdes i första hand vara ett tekniskt problem.

Två analysmetoder som kan vara användbara i sammanhanget presenterades; semantisk analys och morfologisk analys. Den sistnämnda metoden tillämpades delvis. De båda metoderna presenteras mycket kort i bilaga B.

2.3 Mänskliga handlingar som kan påverka säkerheten

Att beskriva bakgrunden till ett scenario baserat på mänskliga handlingar är huvudsakligen ett humanistiskt, samhällsvetenskapligt problem. Den detaljerade beskrivningen av själva handlingen är i första hand ett tekniskt problem. För att identifiera olika typer av handlingar som kan påverka djupförvarets säkerhet kan förvarsfunktionerna användas. Förvarets huvudsakliga funktion är att *isolera* det radioaktiva avfallet. Bergets funktion är att säkerställa en stabil miljö samt att *fördröja* transporten av radionuklider. *Recipientförhållanden* och utspädningförhållanden i biosfären påverkar slutligen stråldosen till miljö och människa.

Nivå 1 – Isolering

- skada på kopparkapsel eller avfallsbehållare så att läcka uppstår

Nivå 2 – Fördröjning

Påverkan på

- grundvattenströmning
- grundvattenkemi
- bergets system av sprickor och hålrum
- bergets temperatur
- tekniska barriärer

Nivå 3 – Recipientförhållanden

- brunnar
- övrig mark- och vattenanvändning

Några mänskliga handlingar som skulle kunna påverka förvarets säkerhet är:

- att borra
- att gräva
- att spränga
- att dämna
- att förändra topografin
- att förändra vegetationen
- att förorena vatten och luft
- att förändra bergets temperatur

2.4 Faktorer som bör övervägas vid bedömning av handlingarnas rimlighet

Faktorer av vitt skilda karaktär från människors oro till tillgänglig teknik bedömdes vara viktiga. Följande rubriker kan sättas på de identifierade faktorerna:

- värden och värderingar
- stämningssläge
- samhälle
- kunskap
- avsikt – uppsåt
- motiv – orsak
- geografiska förutsättningar
- teknik

En resumé av diskussionerna runt faktorerna presenteras nedan, deras betydelse och inbördes beroende diskuteras även i avsnittet om scenarier.

2.4.1 Värden och värderingar

Inledningsvis diskuterades vad människor upplever som hot i samband med slutförvar för radioaktivt avfall. Är det risken att exponeras för radioaktivitet, hot mot reella värden (t ex hus- och tomtpriser), eller är det något helt annat, t ex symbolvärde för/mot kärnkraft, resursutnyttjande (markens jungfrulighet) eller demokratiska värden.

Rådande värderingar, både i samhället och hos enskilda grupper eller individer, kan orsaka att olika typer av handlingar utförs vid förvarsplatsen. Att människor ser förvaret som ett hot mot ett för dem viktigt värde skulle t ex kunna vara en utlösande faktor för sabotage. Ändrade värderingar kan även påverka en framtida bedömning av förvarets säkerhet. Nuvarande säkerhetskriterier formulerade utifrån dagens kunskap och synsätt, med individens hälsa i centrum, kan komma att ändras. Människors värderingar kan också leda till olika typer av åtgärder på platsen och bör vägas in i bedömningen.

2.4.2 Stämningssläge

Det som här rubriceras stämningssläge diskuterades främst i den ena av arbetsgrupperna (grupp B). Gruppen gav denna faktor rubriken känsla/stämningssläge – tillstånd. Det som avses är det allmänna känsloläget hos individer och grupper eller i samhället i stort. De känslor eller stämningar som beskrevs kan variera vad gäller tilltro/oro, säkerhet/osäkerhet samt inflytande/vanmakt. Känslan kan i sin tur avspegla olika förhållanden i samhället som stabilitet/instabilitet, homogenitet/heterogenitet, maktförhållanden, ideologi och kunskapsläge.

2.4.3 Samhälle

Enligt Nationalencyklopedien utgörs ett samhälle av en grupp individer förenade av ett nätverk av sociala relationer med viss varaktighet och kontinuitet över tid. Övriga kännetecken är bl a gemensam kultur och tradition, att samhället överlever sina invånare och att det är territoriellt avgränsat.

De företeelser i samhället som diskuterades under arbetsmötet och ansågs speciellt viktiga var statsbildning, styrelseskick, myndigheter och deras roll samt förekomsten av olika grupperingar. Exempel på sådana är socialklasser, etniska grupper och ideologiska sammanslutningar av olika slag. Grupperingar kan verka över nationsgränser och/eller inom stater. Även samhällstillstånd som kan öka sannolikheten för störande mänskliga handlingar diskuterades, liksom hastigheten och omfattningen av förändringar i samhället.

Statsbildningens geografiska och kulturella omfattning ansågs vara viktig. Ansvars- och maktfördelning mellan och inom unioner, nationalstater, regioner och lokalsamhällen inverkar på flera av de uppräknade samhälls företeelserna. Speciellt väsentliga i sammanhanget är myndigheternas roll och deras befogenheter samt lagstiftning.

Styrelseskick och graden av styrning, dvs om styrningen är stark, svag eller obefintlig, är också viktigt. Tänkbara tillstånd som nämndes var diktatur, demokrati och anarki.

Samhällets kontroll över förvaret har stor betydelse för om störande mänskliga handlingar kan komma att äga rum. Även samhällskontrollens organisation och omfattning liksom medborgarnas inställning till den bedömdes vara av stor vikt.

Samhällets homogenitet/heterogenitet och förekomsten av grupperingar av olika slag bedömdes vidare vara betydelsefullt för sannolikheten för mänskliga störningar. I ett starkt polariserat samhälle skulle grupper på olika sätt kunna utnyttja förvaret t ex för att skaffa sig en maktposition.

Betydande förändringar av samhället bedömdes kunna ske i tidsperspektivet 1–100 år. Till exempel innebär byggandet av ett djupförvar förändringar av samhället. Förändringarnas typ, omfattning och betydelse är dock svåra att förutsäga.

2.4.4 Kunskap

För bedömningen av mänskliga störningar och deras sannolikhet är den framtida kunskapen en central faktor att beakta. Både kunskapen om förvaret och den allmänna kunskapsnivån i samhället är viktiga. Det är också av betydelse hur kunskapen är fördelad, t ex om den är starkt polariserad eller allmänt spridd. Kunskap förändras med tiden. Betydelsefulla kunskapsökningar bedöms kunna ske i tidsperspektivet 10-tals år. En bedömning är att det tar minst 3 generationer, eller i storleksordningen 100 år, innan en specifik kunskap kan sägas vara förlorad.

2.4.5 Avsikt – uppsåt

Mänskliga handlingar på förvarsplatsen kan medföra avsiktlig eller oavsiktlig påverkan på förvarssystemet. Handlingen kan vidare genomföras i ont eller gott syfte, eller i egen- eller allmänintresse. När det gäller avsiktlig påverkan, får människor med full kunskap om förvaret och dess funktion själva ta ansvar för sina handlingar vid förvarsplatsen. Oavsiktlig påverkan ansågs kräva att kunskap gått förlorad.

2.4.6 Motiv – orsak

Det går att hitta flera motiv till att en störande handling genomförs. Några är kontroll av försvarssystemet, allmän nyfikenhet eller kartering, vidare utnyttjande av avfallet som resurs, byggnation i anslutning till förvaret eller förändring av mark- och vattenanvändning.

2.4.7 Geografiska förutsättningar

Geografiska förutsättningar som kan påverka människors handlingar på försvarsplatsen är befolkning och infrastruktur. Platsens klimatförhållanden har också betydelse för hur den nyttjas.

2.4.8 Teknik

Den teknik som nyttjas för att genomföra handlingen har betydelse för i vilken omfattning försvarssystemet påverkas. Teknikutveckling, kanske främst inom områdena mät- och gruvteknik kan leda till att förvarets utformning och säkerhet omvärderas.

2.5 Scenarier

De båda grupperna arbetade på olika sätt och resultaten i form av scenarier redovisas därför gruppvis.

Scenarierna som skissades fokuserade på tänkbara handlingar på försvarsplatsen. Liten eller ingen vikt lades vid om handlingarna kommer att påverka förvarets säkerhet.

2.5.1 Grupp A

Grupp A tillämpade delvis sk morfologisk analys (se bilaga B). Figur 2-1 visar den matris av betydelsefulla faktorer och faktorernas olika tillstånd som gruppen kom fram till.

Man kom fram till att de faktorer som betyder mest för om störande mänskliga handlingar ska ske är kunskapen om försvarssystemet och samhällskontrollen. Dessa två faktorer fick utgöra basen för skissandet av scenarier. Det konstaterades att någon typ av kunskapsförlust eller bristande samhällskontroll är en förutsättning för att något farligt ska hända. Genom att utgå från att det inte längre finns någon samhällskontroll skissade man farliga situationer. Två försök har markerats med olika gråton och siffror i matrisen. Siffrorna hänvisar till beskrivningarna nedan.

1. Det finns ingen samhällskontroll av platsen. Den allmänna kunskapsnivån är jämförbar med dagens. Kunskapen om förvaret har förlorats. Något som kan försämrade förvarets funktion byggs på platsen.
2. Samhället har blivit starkt polariserat utan fungerande samhällskontroll. Vissa grupper har tillgång till kunskap och avancerad teknik. Avfallet betraktas som en resurs. En grupp kommer till platsen och exploaterar en del av avfallet och lämnar sedan förvaret utan att återställa säkerheten. Alternativt: en grupp tar kontrollen över försvarsplatsen för att nå en maktposition.

Värdegrund	Samhällskontroll	Kunskap Allmän	Kunskap Förvaret	Uppsåt Avsikt	Orsak	Metod	Teknik	Tillgänglighet*
Individ	Som idag	Som idag (1)	Lätt tillgänglig (2)	Oavsiktlig (1)	Byggande (1)	Termisk påverkan	Som idag	Som idag
Grupp	Enbart lokal	Mycket låg	Delvis tillgänglig	Avsiktlig Egenintresse (2)	Avfallet en resurs (2)	Via vatten Kem./Biol.	Lite mer avancerad (2)	Mindre
Nation	Enbart internationell	Högre än idag	Borta (1)	Avsiktlig Allmänintr.	Kontroll	Borra (1)	Mycket mer avancerad (2)	Otillgänglig
Mänsklighet	Ingen (1, 2)	Homogen		Avsiktlig Ont uppsåt	Kartering	Gräva (1)	Mindre avancerad	Större
Liv – natur		Starkt polariserad (2)			Nyfikenhet	Spränga (1)		
				Sabotage				

*) Platsens geografiska tillgänglighet

Figur 2-1. Faktorer som kan påverka mänskliga handlingar vid förvarsplatsen.

I ett scenario ingår också en beskrivning av utvecklingen fram till den farliga situationen. Några sådana beskrivningar gjordes emellertid ej. För att kunna använda matrisen för att formulera scenarier krävs väl definierade förutsättningar, mer tid och datorstöd. Matrisen måste även kompletteras med beskrivningar av vad som avses med faktorerna och deras tillstånd. En del av faktorerna (kolumnerna) kanske går att kombinera (slås ihop), t ex kunskapsnivå och teknik. Andra kanske kan utgå eller ingå som en del av förutsättningarna.

Det är dessutom viktigt att försöka bedöma när i framtiden störningen sker. Förändringstakten varierar för de olika faktorerna (kolumnrubrikerna). Tidsaspekten måste därför vägas in då faktorer kombineras och scenarier formuleras.

Den framtida kunskapen om förvaret är en nyckelfråga vid scenariemodelleringen. Den har t ex direkt koppling till avsikt och uppsåt. Även den allmänna kunskapsnivån är viktig. Vilka möjligheter har kommande generationer att tolka informationen om förvaret? Om den detaljerade informationen om avfallet och/eller förvarets funktion delvis förlorats och förvaret upptäcks, kan människor då förstå vad de funnit? Kommer man att kunna återställa förvarsfunktioner som eventuellt försämrats? Gruppen diskuterade förändringen av den allmänna kunskapsnivån och kunskapen om djupförvaret samt hur kunskapsförändringarna kan påverka mänskliga handlingar på förvarsplatsen. Resultatet av diskussionerna visas i figuren på nästa sida.

Om den allmänna kunskapsnivån stiger bedöms de handlingar som kan påverka förvarets säkerhet genomföras selektivt, dvs man har pga djupförvarets närvaro identifierat något speciellt med platsen och valt ut den som lämplig för den aktuella handlingen. Om kunskapen om förvaret samtidigt är oförändrad eller ökar är påverkan på förvaret avsiktlig, dvs man är fullt medveten om att man påverkat förvaret. Har däremot kunskapen om förvaret helt eller delvis förlorats är påverkan på förvarssystemet oavsiktlig. Om den allmänna kunskapsnivån sjunker bedöms valet av förvarsplatsen för den aktuella handlingen vara slumpmässigt, dvs man har inte kunnat skilja förvarsplatsen från andra platser med likartade geografiska förhållanden.

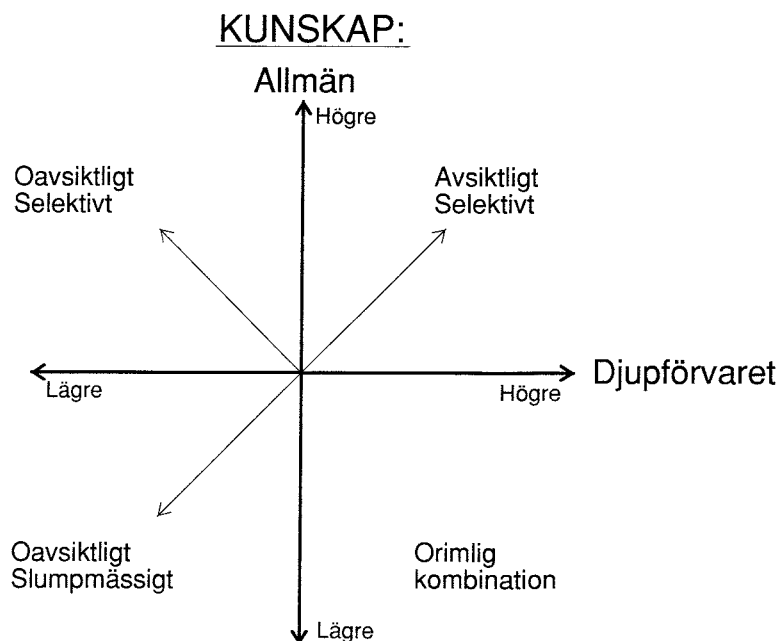
Gruppen diskuterade också vilka företeelser i samhället som är betydelsefulla i sammanhanget och deras förändringstakt. Samhällskontrollen över platsen har redan nämnts. Betydelsefulla förändringar av den kan ske i tidsperspektivet 1–10 år. Bebyggelsens struktur är också viktig, större förändringar kan ske i perspektivet 10–100 år. I Sverige har dock merparten av befolkningen bott inom ett avgränsat befolkningsbälte under mycket lång tid, och omflyttningar har framför allt skett inom detta område. Styrelseskick och utbildningsväsen nämndes också som viktiga faktorer. Deras utvecklingstakt kan skattas genom historiska tillbakablickar.

2.5.2 Grupp B

Gruppen började med att fundera runt utlösande faktorer till mänskliga handlingar på försvarsplatsen. Några tänkbara orsaker är:

- markanvändning
- omvärdering av försvarssystemet och dess säkerhet
- omvärdering av avfallet
- utnyttjande av förvaret i terroryfte
- undersökningar av platsen

Det kan hända att man i framtiden vill nyttja platsen till något, t ex för att bygga bostäder eller någon typ av anläggning. Om nationsgränserna suddas ut och/eller kriteriet att varje land tar hand om sitt avfall förändras, kan ytterligare förvar komma att byggas på platsen. Förändrad kunskap och kultur och ändrade värderingar kan leda till att försvarssystemet omvärderas. Bedömningar av vad som är farligt och vilka risker som är acceptabla samt för vem kan ändras. Både mildare och strängare krav kan bidra till mänskliga handlingar på platsen. Ändrad kunskap och teknik kan göra att avfallet ses som



Figur 2-2. Förändring av kunskap. Origo markerar den nu rådande situationen.

en resurs. I kris och konfliktsituationer kan förvaret användas för att skrämman upp människor eller för att nå en maktposition. Man kan av olika skäl vilja undersöka platsen, förutom byggnation och omvärdering av förvarets säkerhet kan nämnas arkeologiska undersökningar eller kartering.

Gruppen diskuterade vidare vilka faktorer som är viktiga i sammanhanget, samt hur fort de kan förändras:

- teknisk kunskap
ökad 10 år – minskad 100 år
- moraliska/etiska värderingar
hos individer 1 år – i samhället som helhet 100 år
- avsikt – uppsåt
hos grupper och individer 1 år – i samhället som helhet 100 år
- resursanvändning
plats 10 år – avfall 10 år – förvarssystem 10 år
- känsla/stämningsläge – tillstånd
hos grupper och individer 1 år – i samhället som helhet 1–10 år

Under punkten känsla/stämningsläge – tillstånd diskuterades samhällets stabilitet och homogenitet, maktförhållanden, grupperns materiella standard, ideologier och sammanhållning samt individers oro, kunskap och känsla av vanmakt.

Gruppen skissade följande scenarier:

1. Det är 0–10 år sedan förvaret stängts. Samhället är fortsatt stabilt och den tekniska kunskapen är jämförbar med dagens. En grupp närboende känner sig "överkörda" av myndigheterna. De borrar ett antal hål i anslutning till förvaret och hotar att injektera dem med syra.
2. Det är 10–100 år sedan förvaret stängdes. Samhället är instabilt, starka grupperingar förekommer. Den tekniska kunskapen har utvecklats. En grupp med tekniska resurser nyttjar platsens symbolvärde och människors oro i syfte att skaffa sig makt.
3. Det är 100–400 år sedan förvaret stängdes. Samhället är instabilt. Förvaret och avfallet har omvärderats. Ett företag kommer till platsen i syfte att exploatera den.
4. Det är 100–400 år sedan förvaret stängdes. Samhället är stabilt. Förvaret och avfallet har omvärderats och man beslutar att återta avfallet, alternativt förändra förvaret.
5. Det är 100–400 år sedan förvaret stängdes. Samhället är stabilt. Förvaret har omvärderats, men man har inte längre någon helhetsbild över varför det finns och hur det är konstruerat. Man vet att det innehåller något farligt. Förbättrad mätteknik gör att man kunnat detektera något ovanligt på platsen. Detta väcker oro och man borrar i undersökningssyfte.

2.6 Funderingar runt arbetsmötets resultat

Analysen av långtidssäkerheten hos ett djupförvar för använt kärnbränsle är ett viktigt beslutsunderlag i miljökonsekvensbeskrivningen och lokaliseringsprocessen. Det är viktigt att poängtera att konstruktionen och analysen av säkerheten hos ett djupförvar huvudsakligen är ett tekniskt, naturvetenskapligt problem. Utgångspunkten vid formuleringen av scenarier baserade på mänskliga handlingar är vad människor kan göra med förvaret rent fysiskt, t ex att borra, gräva, spränga mm, som orsakar eller påverkar radioaktiva utsläpp från förvaret. Även de säkerhetsmässiga konsekvenserna av handlingarna måste analyseras utifrån tekniska och naturvetenskapliga kunskaper. Men det händelseförlopp som leder fram till en viss handling är ett resultat av en i många och väsentliga delar teknisk utveckling. Vid val och beskrivning av scenarier baserade på mänskliga handlingar bör därför humaniora och samhällsvetenskap komma in. Speciellt viktigt är det då orsak och bakgrund till handlingen skisseras. Hur handlingen (t ex att borra) påverkar förvaret och handlingens säkerhetsmässiga konsekvenser beskrivs tekniskt, naturvetenskapligt på ett likartat sätt som i övriga scenarier (tillverkningsfel, jordskalv m fl).

Faktorer som är av betydelse för förekomsten av mänsklig påverkan på ett djupförvar har vid Skebo diskuterats av en grupp med expertkunskap inom skilda discipliner. De frågeställningar, problem och företeelser som togs upp stämmer i stora drag överens med vad som tidigare diskuterats i kärntekniska fora t ex på SKB internt och inom OECD NEA.

Genom att gå metodiskt tillväga, t ex genom att tillämpa sk morfologisk analys, kan relevanta tillstånd och förändringar av faktorerna beskrivas. Därigenom borde faktorerna gå att precisera och farliga kombinationer av faktorer kunna identifieras. En sådan analys kräver dock mer tid än vad som fanns tillgänglig vid Skebo.

Målsättningen är att teckna och motivera en uppsättning scenarier baserade på mänskliga handlingar som ska ingå i säkerhetsanalysen. Det vore önskvärt att scenariebeskrivningarna grundar sig på dokumenterade historiska och sociologiska kunskaper. Frågan är om en systematisk genomgång skulle underlätta valet av de mänskliga handlingar scenarierna grundar sig på. Om dagens humanistiska och samhällsvetenskapliga kunskaper går att utnyttja för att med sakligt stöd välja ut mer sannolika handlingar (t ex det är mer sannolikt att man borrar än att man bygger ett bergum), eller om målandet av scenarier där människan står i centrum aldrig kan bli annat än rena spekulationer. I det senare fallet kan man utgå från förvarets utformning och funktion och analysera en uppsättning fall som valts på grundval av potentiell inverkan på förvarets säkerhet. Genomgången av humanistiska och samhällsvetenskapliga aspekter kan då bidra med bakgrundsbeskrivningar. En systematisk genomgång av humanistiska och samhällsvetenskapliga aspekter skulle också kunna vara till nytta i andra delar av SKB:s arbete, som t ex lokaliseringsprocess, MKB-process, miljökonsekvensbeskrivning och kommunikation av säkerhetsanalysens resultat.

Det är viktigt att bevara informationen om djupförvaret. För att informationen ska bevaras måste den förvaras på ett lämpligt sätt, samt vara tillgänglig och förståelig för människor. Det är lika viktigt att planera för hur förståeligheten ska bevaras som för hur lagringen ska gå till. Väl bevarade dokument är till ingen nytta om inte människor förstår deras innehåll.

3 IVA 25 mars 1998

3.1 Bakgrund

SKB uppmanades i samband med granskningen av FUD 95 att formulera en strategi att hantera scenarier baserade på mänskliga handlingar. En sådan strategi har skisserats. En utgångspunkt har varit det arbete som bedrivits inom OECD/NEA /3-1/. Dessutom har resultat från en workshop som hölls i december 1997, och interna diskussioner utnyttjats vid formuleringen av strategin.

Strategin omfattar följande punkter;

- A. gör baserat på systembeskrivningen en (huvudsakligen) teknisk analys och identifiera mänskliga handlingar som kan påverka förvarets funktion
- B. beskriv och motivera handlingarna i tekniska termer
- C. analysera vilka samhällsfaktorer och -förhållanden som kan påverka om mänskliga handlingar med inverkan på förvarets säkerhet kommer att genomföras
- D. lägg ihop resultaten av de tekniska och samhällsvetenskapliga analyserna och välj ett antal representativa fall som tillsammans kan sägas illustrera hur framtida mänskliga handlingar kan komma att påverka förvaret
- E. beskriv och analysera de valda fallen mer i detalj.

Framtida mänskliga handlingar på förvarsplatsen kan delas in i olika kategorier t ex, handlingar som:

- påverkar isoleringen av avfallet
- påverkar förvarets förmåga att förhindra och fördröja radionuklidtransport om isoleringen brutits
- påverkar utspädning och spridning av radionuklider i biosfären
- ger direkta radiologiska konsekvenser
- indirekt kan ge radiologiska konsekvenser (dvs handlingar som påskyndar radionuklidtransport och/eller i kombination med annat bryter isoleringen)
- inte leder till några radiologiska konsekvenser men där förvaret utnyttjas med onda avsikter t ex i utpressningssyfte

I SR 97 behandlas mänskliga handlingar som:

- medför radiologiska konsekvenser
- påverkar förvarssystemets funktion
- är oavsiktliga dvs sker utan kännedom om
- förvarsplatsen och/eller
- förvarets syfte och funktion och/eller
- avfallets farlighet

3.2 Syfte

Syftet med arbetsmötet var att genomföra steg A) och B) i den ovan skisserade strategin. Det vill säga baserat på dagens tekniska kunskaper göra en lista med mänskliga handlingar som kan påverka förvarssystemet. Beskriva och motivera handlingarna i tekniska termer. Valet av handlingar skulle göras med systembeskrivningen i form av THMC diagram som stöd. De valda handlingarna påverkar förvarsfunktionerna, är tekniskt möjliga, genomförbara och trovärdiga ur teknisk synvinkel.

3.3 Arbetsgång

Identifieringen av handlingar skulle ske med utgångspunkt från THMC-diagrammen. Först identifierades handlingar som kan påverka termiska tillståndsvariabler och processer, sedan handlingar som kan påverka hydrologiska tillståndsvariabler och processer osv. Sedan beskrevs och kommenterades handlingarna, och deras potentiella inverkan på förvarssystemet diskuterades.

Inverkan på förvarssystemet hann inte diskuteras i detalj. Mötets primära mål var att ta fram en lista med handlingar som påverkar förvaret. Beskrivningarna av hur förvaret påverkas måste kompletteras. I ett första steg så att de handlingar med mest inverkan på förvarssystemet kan väljas ut.

3.4 Allmänna slutsatser och synpunkter

Indelningen i THMC går inte att göra strikt eftersom de flesta beskrivna handlingarna påverkar flera kategorier tillståndsvariabler och processer. En gruppering i THMC kan dock användas för att visa att en fullständig genomgång av tekniska aspekter gjorts. Det kräver en vidare tolkning av vilka handlingar som tillhör en viss kategori än att de påverkar tillståndsvariabler och processer av ett visst slag. Mänsklig påverkan tillhör en viss kategori om:

- respektive kategoris processer påverkas
- handlingens syfte är att utnyttja en resurs som kan sägas tillhöra kategorin
- handlingen syftar till att lösa någon uppgift som kan sägas tillhöra kategorin

De handlingar som bedöms ha störst inverkan på förvarssystemet innehåller alltid någon form av mekanisk påverkan t ex att borra eller spränga.

3.4.1 Förvarets robusthet

Mänskliga intrång har övervägts vid förvarsutformningen. För att borra eller gräva sig ned till avfallet krävs maskinell utrustning och – om inte tekniken utvecklas avsevärt – en stor arbetsinsats som kostar avsevärda summor. Aktiviteter på ytan av förvaret måste medföra stora förändringar för att överhuvudtaget kunna påverka förvarets förmåga att isolera, hålla kvar och fördröja radionuklider.

3.4.2 Resurstillgänglighet

Mänskliga intrång har också övervägts vid platsvalet. Förvaret förläggs i en vanligt förekommande bergartstyp utan innehåll av speciella mineral som kan anses vara en naturtillgång. Områden med förutsättningar för utvinning eller lagring av värme undviks. Anses själva berget vara en naturresurs medför den vanligt förekommande bergartstypen att resursen är lätt tillgänglig i stora delar av landet. Det är svårt att finna anledningar till varför man skulle utvinna berg från stora djup.

3.4.3 Ekonomi

Omfattande förändringar av förhållandena på ytan av ett förvar, att borra eller bygga i berget kommer alltid att innebära en ansträngning. Någon måste vara villig att betala för ansträngningen, antingen genom att handlingen i sig ger vinning (resursutnyttjande av något slag) eller att någon (t ex kraftindustri, staten eller en enskild individ) betalar för den. Om ansträngningen är värd sitt pris beror naturligtvis både på vad den kostar och hur mycket den som genomför handlingen är villig att betala. Enbart mer eller mindre realistiska förväntningar att finna stora mängder värdefullt material kan driva undersöknings- och prospekterings projekt.

Teknikutveckling kan göra olika handlingar billigare och lättare att genomföra. Synen på vad som är en resurs, hänger ihop med värdet på den aktuella tillgången och kostnaderna för att nyttja den. Teknikutveckling kan drivas av att värdet på en tillgång är högt. Ekonomi och teknik hänger således ihop.

3.4.4 Störningens varaktighet

Förhållandena i samhället förändras relativt snabbt. Anläggningar skapade av människan, som nyttjas för något speciellt ändamål och omfattar någon typ av kontinuerlig drift, är ofta beroende av rådande tekniska och samhällsliga förhållanden. Sådana anläggningar kan antas drivas i tidsperioder på 10-tals till maximalt 100-tals år. Då anläggningen inte längre är i drift kan den överges utan att åtgärder vidtas för att återställa platsen i det skick den var innan anläggningen byggdes.

3.5 Mänskliga handlingar som kan påverka förvaret

I Tabell 3-1 redovisas mänskliga handlingar som kan påverka förvaret uppdelat i kategorierna THMC. I följande avsnitt ges beskrivningar och kommentarer till respektive kategori, samt handlingarna inom dem.

3.5.1 Termisk påverkan

Jordens inre är varmt. Om man bortser från årstidsvisa temperaturvariationer av de ytnära lagren ökar temperaturen med djupet. På ett visst djup – som varierar mellan landets olika delar – är temperaturen oberoende av årstiden. Under detta djup är temperaturen i berggrunden större än på ytan under den största delen av året. Temperaturen ökar med djupet. Kristallint berg har en relativt hög värmekapacitet (ca hälften av den specifika värmekapaciteten hos vatten räknat per volymsenhet). En hög värmekapacitet innebär god förmåga att magasinera värme. Värmekapaciteten är större hos basiska bergarter än i sura, men skillnaden är inte så stor (ca 10–20 %).

Energi i form av värme finns alltså tillgänglig i berget. Värmen kan utvinnas, berget har också förutsättningar att utnyttjas som lagringsplats för värme. Bergets värmekapacitet kan ha betydelse vid lokaliseringen av värmelager. Vid temperaturer över kokpunkten kan värmen omvandlas till andra energiformer. Så höga temperaturer förekommer på mycket stora djup i den typ av berg där ett djupförvar planeras. Vid lägre temperaturen kan värmen utnyttjas för uppvärmning.

Tabell 3.1. Mänskliga handlingar som kan påverka ett djupförvar indelat i kategorierna THMC

Kategori	Handling
Termisk påverkan	Bygga värmelager Bygga värmepumpänläggning Utvinna geotermisk energi (geotermi) Bygga anläggning som genererar värme/kyla på ytan av förvaret
Hydrologisk påverkan	Anlägga brunn Bygga damm Ändra ytvattens (vattendrag, sjöar, hav) sträckning, utbredning och förbindelser med andra ytvatten Bygga anläggning för vattenkraft Bygga anläggning för dränage Bygga anläggning för infiltration Bygga anläggning för bevattning Ändra förhållanden för grundvattenbildning genom ändrad markanvändning
Mekanisk påverkan	Borra i berget Bygga berggrum, tunnel, schakt etc Anlägga dagbrott Anlägga tipp Bomba eller spränga på ytan av förvaret
Kemisk påverkan	Förvara miljöfarligt avfall i berget Anlägga soptipp Försura luft och mark Sterilisera mark Orsaka olycka med spridning av kemikalier som följd

Eftersom temperaturen i berget inte är så hög (ca 12–15°C på 500 meters djup) krävs ofta ytterligare åtgärder, t ex en värmepumpänläggning, för att utnyttja bergvärmens. För att avgöra om en anläggning för uppvärmning är effektiv måste systemets samtliga delar beaktas. Vid uppvärmning av bostäder påverkar t ex byggnadens isolering, ventilation, radiatorer mm effektiviteten.

Djupförvaret kommer att ge en ökning av bergets temperatur. Det förbättrar förutsättningarna för både utvinning och lagring av värme. Om den ökade temperaturen är känd kan förvarsplatsen väljas framför andra både för utvinning och lagring av värme. I kristallint berg är temperaturgradienten ca 1,6°C per 100 meter. Vid ett djupförvar ökar gradienten. Om förvaret byggs på 500 meters djup kommer gradienten att efter 1 000 år att vara ca 6°C/100 m och efter 10 000 år ca 2,5°C/100 m. Det betyder att värmeanomalin som uppstått pga förvaret kan detekteras med enkla instrument, vid brunnsborrning med en vanlig termometer.

Värmelager

Förutsättningar

Tack vare sin värmekapacitet och jämna temperatur kan berget användas för att lagra värmeenergi. Värmen tillförs i form av varmt vatten. Vattnet kan ha värmts av solen eller vara restvärme från någon verksamhet. Stora lager – med stor volym i förhållande till ytan – på stora djup har den största potentialen. En sådan anläggning kräver omfattande byggnation. Med dagens teknik är kostnaden för att bygga värmelager så stor, och priset på energi så lågt att lagren sällan är lönsamma.

Teknik

Det varma vattnet lagras i bergrum, som kan vara blockfyllda, eller i borrhålslager. Ett borrhålslager består av många borrhål där det varma vattnet pumpas ned. Berget runt borrhålet kan sprängas upp. Tekniken finns tillgänglig idag, och pilotanläggningar har byggts.

Bergrum för värmelagring byggs relativt nära ytan, på några 10-tals meters djup. Den temperaturökning ökande djup ger är inte avgörande för anläggningens effektivitet. Större djup ger dock en lägre temperaturgradient och därmed mindre förluster, lagrets djup är således en optimeringsfråga.

Antal borrhål och borrhålens djup i ett borrhålslager beror av hur mycket värme som ska lagras. För större samhällen kan ett stort antal borrhål till flera hundra meters djup krävas.

Påverkan på djupförvaret

Ett värmelager påverkar förvaret termiskt, hydrologiskt, mekaniskt och kemiskt. Omfattning och karaktär av förändringarna beror på hur lagret är utformat. Isoleringen av avfallet kan påverkas direkt om man borrar igenom en kapsel (se 5.3 Mekanisk påverkan). Isoleringen påverkas indirekt om buffertens och/eller bergets förmåga att skydda kapseln från kemiska och mekaniska angrepp försämras. Förhållandena för radionuklidtransport genom berget förändras, även buffertens förmåga att hålla kvar och fördröja radionuklider kan komma att påverkas.

Värmepumpanläggning

Förutsättningar

Här behandlas enbart värmepumpanläggningar som utnyttjar bergvärme. Energin kan antingen utvinnas genom att vatten eller ett köldmedium cirkuleras genom berget och värms av det, eller genom att grundvatten pumpas upp. I det förstnämnda fallet utvecklas en temperaturgradient in mot borrhålet, gradienten varierar mellan vinter och sommarhalvår. Ska grundvatten utnyttjas som värmekälla krävs att tillrinningen är tillräckligt stor för att täcka behovet. Uppvärmning av en enfamiljsfastighet kräver, med dagens förhållanden, ca 25 gånger mer vatten än hushållets övriga vattenkonsumtion. Värmepumpanläggningar kan kombineras med värmelagring.

Teknik

Tekniken är tillgänglig idag och många anläggningar finns i drift. Anläggningar för mindre fastigheter med borrhål där ett köldmedium cirkuleras i ett slutet system är vanliga. Ett borrhål på ca 100 m kan försörja en enfamiljsfastighet med nutida energibehov. Anläggningar med flera och djupare hål är tänkbara i tät bebyggelse, även om de inte är vanliga idag. Utveckling av såväl värmepumpsteknik som borrhåtmeter påverkar anläggningens utformning och ekonomi.

Påverkan på förvaret

En bergvärmeanläggning påverkar förvaret termiskt och i viss mån mekaniskt. Hydrologisk och kemisk påverkan från den typ av mindre anläggningar som beskrivs ovan är begränsad. Överhuvudtaget bedöms påverkan från sådana anläggningar vara av liten betydelse. Det krävs större anläggningar med fler och djupare borrhål för att orsaka påverkan av betydelse för förvarssystemets funktion. Generellt påverkas förvaret mer vid kombination med värmelagring eftersom värmelagringen innebär att vatten pumpas ned i berget. Vattnet som pumpas ned kan vara syresatt och/eller innehålla föroreningar av olika slag.

Geotermisk energi – geotermi

Förutsättningar

Här avses geotermisk energi som utnyttjas direkt, dvs utan ”förädling” via värmelagring eller värmepump. Platser med förutsättningar för utvinning av geotermisk energi undviks vid lokaliseringen. Med dagens teknik kräver sådana anläggningar temperaturer på minst 150–200°C. Vid en tänkt förvaringsplats måste man söka sig till djup på ca 10 000 meter för att komma upp i så höga temperaturer. Värmen kan antingen utvinnas genom att hett grundvatten pumpas upp, eller genom att vatten från ytan pumpas genom naturliga och/eller uppsprängda sprickor i det varma berget. Eftersom vattentillgången på stort djup i kristallint berg är begränsad är den senare typen mest trolig.

Teknik

Tekniken finns i princip idag, men inga anläggningar på så stora djup som skulle krävas vid en förvaringsplats existerar. Minst två borrhål borrar och förbinds med varandra genom ett spricksystem. På ena sidan pumpas vatten ned, och på den andra upp. Vattnet värms vid passagen genom spricksystemet. Anläggningar av denna typ finns i områden där temperaturen ökar snabbt med djupet. Idag existerar överhuvudtaget inga borrhål till så stora djup som skulle krävas vid ett djupförvar. Några få borrhål till 8–10 000 m eller mer, borrade i undersökningssyfte finns runt världen. Om geotermi ska kunna utnyttjas vid de förhållanden som råder vid ett djupförvar krävs teknikutveckling.

Påverkan på förvaret

Om en anläggning av den typ som beskrivs ovan trots allt skulle byggas borde den inte påverka djupförvaret i någon större utsträckning eftersom den ligger långt under förvaret. Själva borrhålen påverkar förvaret mekaniskt och hydrologiskt eftersom de är tänkbara passagevägar för grundvatten. Om borrhålen passerat genom förvaret finns en liten sannolikhet att en kapsel har penetrerats (se avsnitt 2.5.3 Borra i berget).

Anläggning på ytan av förvaret

Förutsättningar

Temperaturgradienter är en drivkraft för grundvattenflöde, oftast mindre betydelsefull än tryckgradienter. Om själva temperaturförändringen ska påverka förvarets säkerhet, krävs temperaturer på förvarsdjup under fryspunkten eller över kokpunkten. Det är svårt att tänka sig en värme/köld genererande anläggning på ytan som skulle kunna påverka förvaret. Idag finns inga exempel på sådana anläggningar.

3.5.2 Hydrologisk påverkan

Sverige ligger till största delen i den tempererade klimatzonen. Årsnederbörden är i allmänhet mellan 400–600 mm. Nederbörden i kombination med övriga klimatförhållanden och berggrundens låga vattengenomsläpplighet gör att grundvattenytan i stort sett följer topografin. Landskapet innehåller många sjöar och vattendrag. Gångna glaciationer har lämnat efter sig grusåsar som är rikliga vattenmagasin. Bergets vattengenomsläpplighet avtar med djupet. Ned till ca 200 m djup avtar den snabbare än på större djup. Grundvattenflödet nära ytan kan vara flera storleksordningar större än på förvarsdjup. På stort djup finns alltid salt vatten. Sött vatten finns närmast ytan, djupet till saltvatten beror av lokala förhållanden. Tillgång till ytnära vatten av tjänlig kvalitet finns på de flesta platser i landet.

Djupförvaret ska förläggas i ett bergparti fritt från större vattenförande sprickzoner. Vattenomsättningen i det bergparti där förvaret byggs ska vara låg. Förutsättningarna för att hämta vatten från just detta bergparti är därför mindre goda. På 500 meters djup är dessutom vattnet ofta salt, åtminstone i kustnära områden.

Brunn

Förutsättningar

Endast bergbrunnar diskuteras. Brunnar där vattnet används som dricksvatten eller till bevattning borrar i anslutning till vattenförande zoner. Djupet ligger normalt mellan 50 – 100 meter, brunnar ned till 130–150 meter förekommer. Djupare brunnar förekommer men är mycket ovanliga. Anledningen är att det är dyrt att borra samt att sannolikheten att träffa på tjänligt vatten i tillräcklig mängd minskar med djupet. Ett undantag är om man karterat en större djupt liggande vattenförande zon som man borrar mot. I sådana fall rör det sig om vattenutag i stor skala och ej brunnar för privat bruk. Mot bakgrund av de hydrologiska förhållandena i Sverige är det svårt att se några skäl till varför dricksvatten ska hämtas från stora djup. Ett skäl till att hämta vatten från större djup kan vara att det är varmare än vattnet nära ytan, detta diskuteras i avsnitt 2.5.1 Termisk påverkan.

Teknik

Tekniken finns, och många bergborrade brunnar finns i landet.

Påverkan på förvaret

Brunnen finns med i de flesta säkerhetsanalyser. Uttag av vatten från en brunn påverkar förhållandena för grundvattenflöde genom berget. Inverkan på förvarssystemets funktion är begränsad eftersom brunnen troligen inte når förvarsdjup. Om det finns otäta kapslar kommer en närliggande brunn att påverka transporten av radionuklider genom berget. Genom att dricka brunnsvatten exponeras människan direkt för radionukliderna. Används brunnsvattnet för bevattning påverkas transporten av radionuklider i biosfären. Brunnen ingår ofta som en variation av biosfärsbeskrivningen i scenarier baserade på kapslar med initiala skador.

Damm

Förutsättningar

Dammar byggs om man behöver ett vattenmagasin och markförhållandena bedöms vara lämpliga. Vattenmagasinet kan t ex utnyttjas till fiskodling, dricksvatten, bevattning, vattenkraft mm. Dammar kan också anläggas för rekreation eller i förskönade syfte.

Teknik

Konsten att bygga dammar är gammal och tekniken väl känd.

Påverkan på förvaret

En damm påverkar förutsättningarna för grundvattenflöde genom berget. De tryckskillnader som är den dominerande drivkraften för grundvattenrörelser påverkas. Områden som tidigare varit inströmningsområden för grundvatten kan bli utströmningsområden och tvärt om. Förhållandena för infiltration av grundvatten förändras. Förändringarna bedöms inte påverka förvarets förmåga att isolera avfallet. Om isoleringen är bruten påverkas radionuklidtransporten genom berget, både kortare och längre transporttider är möjliga. Inverkan på bergets förmåga att hålla kvar och fördröja radionuklider bedöms vara liten, däremot är förändringarna av förhållandena i biosfären betydande.

Ändra ytvattendrag

Förutsättningar

Ytvatten kan förändras vid ändrad markanvändning t ex vid jord- eller skogsbruk eller byggande av något slag. Vattendrags riktning och flöden kan ändras, kanaler kan sammanbinda vattendrag, sjöar och hav. Havsvikar kan vallas in, våtmarker kan dikas ut etc. Finns det ytvatten på en plats kan de alltid förändras av människan om man finner att det skulle vara lämpligt.

Teknik

Människan har långt tillbaka i tiden på olika sätt utnyttjat, byggt och påverkat ytvatten. Teknik finns, och tillämpas.

Påverkan på förvaret

Påverkan på förvaret liknar den vid dammbygge, se 5.2.2 Damm.

Anläggning för vattenkraft

För att bygga ett vattenkraftverk krävs tillgång på vatten och en fallhöjd. Till ett vattenkraftverk hör en damm och ofta även tunnlar och berggrum.

För beskrivning av teknik och påverkan på förvaret hänvisas till avsnitt 2.5.2 Damm samt 2.5.3 Berggrum, tunnel, schakt etc.

Anläggningar för dränage eller infiltration

Byggande i berget kräver dränering om inte berggrummet får fyllas med vatten. Dränering av ytnära lager kan bli aktuellt för att göra områden lämpliga för något speciellt ändamål. Torrläggning innebär att markförhållandena ändras.

I gaslager kan sk vattenridåer där kanaler med trycksatt vatten omger berggrummet hindra gas att läcka ut. I anläggningar för värmelagring kan varmt vatten infiltreras. I områden där stora delar av marken är bebyggd och/eller täckt med någon relativt tät beläggning kan vatten infiltreras för att undvika sänkning av grundvattenytan och därmed ändrade markförhållanden (se avsnitt 2.5.2 Ändrad markanvändning).

För beskrivning av teknik och påverkan på förvaret hänvisas till avsnitt 2.5.1 Värmelager, 2.5.2 Ändra ytvattendrag samt 2.5.3 Berggrum, tunnel, schakt etc.

Anläggning för bevattning

En anläggning för bevattning kräver en vattenkälla. Källan kan vara en brunn, en damm eller ytvatten. Ytvatten kan nyttjas direkt eller via byggande av kanaler eller liknande. Bevattning påverkar förhållandena för infiltration av grundvatten. Se även avsnitt 2.5.2 Brunn, 2.5.2 Damm samt 2.5.2 Ändra ytvattendrag.

Ändrad markanvändning

Ändrad markanvändning påverkar förhållandena för grundvattenbildning. Hur stor påverkan blir beror på hur markanvändningen förändrats, flera exempel diskuteras i detta papper. Om markytor bebyggs och/eller förses med någon relativt tät beläggning kommer grundvattenbildningen att minska. Det påverkar markförhållandena och kan leda till sättningsskador på byggnader och även jordskred. Hur marken används för människornas försörjning är en viktig del i biosfärsbeskrivningen.

3.5.3 Mekanisk påverkan

Kristallina bergarter är hårda och spröda material med hög tryckhållfasthet och låg draghållfasthet. Densiteten är ca 2,7 ton/m³. Vid byggande i berg försöker man på olika sätt orsaka så stora påkänningar att berget faller sönder och kan transporteras bort.

Borra i berget

Förutsättningar

Då man vill undersöka berggrundens egenskaper på större djup brukar man ofta borra ett eller flera borrhål. Inför de flesta större bergarbeten borrar några hål för att undersöka berggrunden. Förutom i syfte att undersöka berggrunden kan man borra för att anlägga en brunn, bygga en anläggning för värmeutvinning eller -lagring, eller för att infiltrera vatten eller någon annan vätska i berget.

Förvaret utgör en inhomogenitet i berget. Det använda bränslet avger värme. De avvikelser från omgivande berg som förvaret innebär kan detekteras från ytan. Om informationen om förvaret delvis förlorats, kan avvikelserna väcka nyfikenhet och platsen kan komma att undersökas med borrhål.

Teknik

Konsten att borra djupa hål i berg har funnits i över 100 år. Idag tillämpas följande borrar-metoder:

- Kärnbörning
- Hammarbörning
- Sänkkammarbörning

Vid kärnbörning tas en borkärna ut. Borren utgörs av en roterande metallcylinder, vatten används för att avlägsna borkax och för att kyla borren. Kärnbörning används vid undersökning och prospektering. Vid hammarbörning pulvreras berget av en utrustning som slår, vrider och krossar. Den pulvrerade bergmassan avlägsnas med vatten. Hammarbörning används vid brunnsbörning och börning för att utvinna eller lagra värme. Vid sänkkammarbörning placeras borrarutrustningen (hammarbör) nere i borrhålet. Sänkkammarbörning används vid börning av mycket djupa hål. Vid börning oavsett borrar-metod är det troligt att den inhomogenitet tunnlar, buffert och kapsel utgör upptäcks. En kärnbör skulle dock kunna gå igenom buffert och kapsel och radioaktivt material föras till ytan. Vid hammarbörning skulle kapseln utgöra ett hinder, koppar är ett duktilt material som inte kan krossas på samma sätt som det hårda spröda berget.

Påverkan på förvaret

Borrar man till stora djup inom förvarsområdet finns en viss sannolikhet att penetrera en kapsel och därmed bryta isoleringen. Om man borrar genom en kapsel förs använt kärnbränsle upp till ytan och människor exponeras för radionuklidinnehållet. Om isoleringen skulle vara bruten är ett borrhål en tänkbar transportväg för radionuklider. En transportväg som kan medföra att bergets förmåga att hålla kvar och fördröja radionuklider försämrats. Pumpas vatten ur borrhålet påverkas bergets förmåga att hålla kvar radionukliderna ytterligare. I övrigt beror inverkan på förvaret på hur djupt hålet är och till vad det nyttjas. Ett borrhål som passerar nära förvaret, vars syfte medför påverkan på termiska, hydrologiska eller kemiska tillståndsvariabler eller processer kan – förutom radionuklidtransporten – påverka den stabila miljön runt förvaret och därmed på sikt isoleringen.

Bergrum, tunnel schakt etc

Förutsättningar

Ett skäl till att bygga tunnlar och schakt i är gruvdrift, dvs att man vill komma åt någon mineral som finns i berget. Man kan också bygga bergrum i syfte att lagra något. Berget väljs som lagringsplats för att det är lämpligt pga av rådande förhållanden (temperatur, tryck, kemisk miljö etc). För att man vill skydda det lagrade godset från yttre påverkan, eller omgivningen från det lagrade godset, eller för att det inte finns tillräckligt med utrymme på ytan. I tätbebyggda områden byggs tunnlar för trafik, el, tele och avlopp. Berget utnyttjas också för diverse fortifikatoriska anläggningar och skyddsrum. Bergrum kan också utnyttjas som testplats för vapen.

Eftersom det är dyrt att bygga i berg placeras bergrummen i allmänhet så nära ytan som möjligt med hänsyn till syftet. I många fall räcker 10-tals meter bergtäckning. I vissa fall vill man utnyttja förhållandena på större djup. Ett exempel är förvar för miljöfarligt avfall, som utnyttjar de hydrologiska, mekaniska och kemiska förhållanden djupt ned i berggrunden. Ett annat exempel är då man vill utnyttja den ökade temperaturen på större djup, se avsnitt 2.5.1 Termisk påverkan. Ytterligare ett skäl till att söka sig till stora djup är tryckförhållandena. Bergrum på 50 –1 000 meters djup kan nyttjas för lagring av tryckluft till gasturbiner. På samma djup kan bergrum med vattenridåtätning för lagring av gas byggas. Ett bergrum kan också byggas i syfte att få en fallhöjd för vatten, som utnyttjas för att generera el. För att en sådan anläggning ska vara lönsam krävs periodiskt växlande elpriser. Anläggningen genererar el då priserna är höga, under perioder med lågt pris pumpas vattnet upp igen.

Teknik

Tekniken är känd, exempel på bergrum på stora djup finns inom gruvnäringen. Vanligast är att sprängteknik utnyttjas vid bergbyggande, i vissa fall används även borrhåls-teknik.

Påverkan på förvaret

Ett bergrum i närheten av förvaret påverkar de hydrologiska och mekaniska förhållandena vid förvaret. Ändrade H-M förhållanden leder till ändrade kemiska förhållanden, t ex kan salthalten öka på förvarsdjup. Även de termiska förhållandena kommer att påverkas, men det bedöms vara av mindre betydelse. Ju närmare förvaret bergrummet ligger, desto mer påverkas förvaret. Ett bergrum i nära anslutning till deponerade kapslar kan hota isoleringen. Då bergrummet hålls torrt kommer vattenomsättning och förutsättningarna för transport av ämnen med grundvattnet att påverkas. Övergivna bergrum, tunnlar, schakt och borrhål är tänkbara transportvägar för oönskade ämnen till och från förvaret.

Dagbrott

Förutsättningar

Berggrunden på förvarsplatsen består av vanligt förekommande kristallina bergarter. Liknade förhållanden finns på cirka 50% av Sveriges yta. Skulle man vilja utnyttja berget som resurs är dagbrott det mest troliga. Eftersom sten är tungt är det troligt att möjligheterna att ordna transporter mellan dagbrottet och bruksplatsen är en viktig lokaliseringsfaktor. Insatser för att dränera kan också övervägas vid platsvalet, t ex kan dagbrottet anläggas vid en höjd. Eftersom det är lättare att bryta nära ytan och tillgången på kristallint berg är god, är det troligt att dagbrottets djup begränsar sig till några 10-tals meter.

En formation där berget har osedvanligt hög kvalitet, t ex hög hållfasthet, vacker färg och textur, eller är lätt att klyva ger råmaterialet ett högre värde. I sådana fall är det tänkbart att ett dagbrott kan göras djupare, kanske ned mot någon eller några hundra meter. Sådana områden undviks vid lokaliseringen.

Teknik

Tekniken finns, sprängteknik med laddningar avvägda efter önskad storlek på de brutna blocken utnyttjas.

Påverkan på förvaret

Förvaret påverkas hydrologiskt och mekaniskt. Då bergytor blottläggs förändras förhållandena för infiltration av grundvatten, vilket påverkar grundvattensammansättningen, åtminstone nära ytan. Nära ytan kommer även bergets temperatur att förändras, men det bedöms vara av mindre betydelse.

Tipp

Förutsättningar

Oönskade restprodukter samlas ofta på avgränsade platser i sk tippor. Sten och jordmaterial kan lagras i tippor. Tippor placeras ofta på mark som bedöms mindre värdefull, och som ligger gynnsamt ur transportsynpunkt.

Teknik

Restprodukten kan läggas direkt på platsen. I vissa fall förbereds marken t ex genom dränering eller anläggande av tätskikt.

Påverkan på förvaret

Tippen utgör en mekanisk last. Lasten bedöms vara försumbar i förhållande till naturliga variationer av påkänningarna på berget t ex i samband med en glaciation. En tipp påverkar förhållandena för infiltration av grundvatten. Grundvattensammansättningen påverkas, åtminstone lokalt och nära ytan. Hur grundvattnets sammansättning ändras beror på sammansättningen hos det tippade materialet samt eventuella åtgärder i form av dränering, tätskikt och liknande.

Bomba eller spränga på ytan av förvaret

Sprängning på ytan förekommer ofta i samband med byggnation av olika slag. Det kan röra sig om att spränga bort en bit berg som anses vara i vägen, att anlägga källarvåningar eller vägar i skärning. Denna typ av åtgärder bedöms inte påverka förvarets säkerhet.

Bomber kan detonera på ytan av ett förvar i samband med krig eller om platsen valts som testplats för vapen. En bomb som detonerar nära markytan ger upphov till en krater, och berget spricker upp lokalt. Normalt bedöms förvarets säkerhet inte påverkas. En bomb som kan hota förvaret måste ha mycket stor tryckverkan. Om en sådan bomb skulle detonera på ytan kommer konsekvenserna att bli ödesdigra oavsett om de medför utsläpp av radionuklider från förvaret eller ej. Testning av så stora bomber i fredstid är otänkbart. Fälls så stora bomber i en krigssituation är troligtvis konsekvenserna sådana att eventuella radionuklidutsläpp från ett djupförvar kan betraktas som försumbara.

3.5.4 Kemisk påverkan

Berggrunden är ett mycket effektivt filter för de flesta ämnen och föreningar. En del starka komplexbildare kan emellertid förändra situationen genom att öka rörligheten hos metalljoner som de bildar komplex med. Om det finns otäta kapslar, påverkar sådana ämnen bergets förmåga att hålla kvar radionuklider. Även kolloidala partiklar kan befaras ha relativt hög rörlighet och förmåga att ta upp radioaktiva ämnen. Ytaktiva ämnen kan medverka till att stabilisera kolloidala suspensioner, och därmed bergets förmåga att hålla kvar radionuklider.

Förvaring av avfall i berggrunden

Förutsättningar

Avfallet har samlats in och berget bedömts som en lämplig plats att förvara det. Om denna metod väljs för att göra sig av med någon typ av avfall, har man troligtvis noga övervägt sitt val. Det är också troligt att man undersöker det berg där avfallet ska förvaras. Om den undersökta platsen ligger vid djupförvaret är det troligt att man upptäcker förvaret och förstår att det är ett avfallslager.

Lokalisering, projektering, byggande och drift av lager för radioaktivt avfall har bidragit till att utveckla denna metod att hantera miljöfarligt avfall. Både teknik och metoder att utvärdera säkerheten hos avfallslagren har utvecklats. Dessutom kan anläggningar i drift påverka människors inställning till denna typ av avfallshantering.

Teknik

Avfallet kan placeras i berggrum eller injekteras i berggrunden. Vid placering i berggrum kan förvaret förses med barriärer av olika slag. Avfallet är troligen i sådan form att det bedöms vara stabilt i den miljö berget erbjuder. Vid injektering måste avfallet vara i flytande form. Om borrhåstekniken blir mycket billigare och mer lättillgänglig än idag kan man tänka sig att avfall kan komma att dumpas på detta sätt.

Anläggningar för berglagring av radioaktivt driftavfall finns i drift. Lager för använt kärnbränsle planeras i flera länder. Det finns även planer att förvara kvicksilver i berggrum. Teknik att injektera avfall finns, och lär ha tillämpats i det forna Sovjetunionen. Borrhål borrar till ett djup som bedöms lämpligt. Avfallet injekteras direkt i berggrunden eller i ett uppsprängt område.

Påverkan på förvaret

Vid borrhning för injektering eller undersökning skulle ett borrhål kunna penetrera en kapsel, se avsnitt 2.5.3 Borra i berget. Injektering i nära anslutning till deponeringshål kan – beroende på det injekterade ämnets egenskaper – påverka buffertens stabilitet. Försämrade buffertfunktion medför att kapseln kan komma att påverkas så att isoleringen bryts. Injektering av avfall har en viss inverkan på de hydrologiska förhållandena. Under byggande och drift av ett avfallslager påverkas de hydrologiska förhållandena. Slutna berggrum påverkar bergets flödesgeometri. Om isoleringen är bruten är ett borrhål en möjlig transportväg för radionuklider. Injekterade ämnen och ämnen som eventuellt läcker ut från ett avfallslager kan påverka bergets förmåga att hålla kvar radionuklider.

Tillförsel av kemiska substanser från ytan

Substanser kan tillföras berggrunden via tippor, allmän förorening av luft och mark eller vid olyckor. Om jordlager steriliseras eller schaktas bort kan ämnen som annars skulle omvandlats eller ackumulerats där komma ned i berget. Tillförsel av kemiska substanser från ytan måste vara mycket omfattande för att kunna inverka på förvarets säkerhet. Så omfattande att föroreningen i sig medför så allvarliga konsekvenser att ett eventuellt ytterligare bidrag till förödelsen i form av radionuklider är försumbart.

4 Frösundavik 28–29 maj 1998

4.1 Inledning

FOA har på uppdrag av SKB gjort en studie om samhälleliga sammanhang för mänskliga handlingar som kan påverka djupförvar för radioaktivt avfall. Uppdraget har skett inom ramen för SR 97 – analys av djupförvarets långsiktiga säkerhet – som SKB genomför 1997–1999.

4.1.1 Bakgrund och syfte

SKB har av SKI uppmanats att formulera en strategi för att hantera scenarier baserade på mänskliga handlingar. Den omfattar följande punkter (se avsnitt 3.1):

- A. Teknisk (huvudsakligen) analys och identifiering av mänskliga handlingar som kan påverka förvarets funktion.
- B. Beskrivning och motivering av dessa handlingar i tekniska termer.
- C. Analys av samhällsfaktorer och samhällsförhållanden som kan påverka mänskliga handlingar.
- D. Syntes av teknisk och samhällsvetenskaplig analys som utmynnar i ett antal representativa scenarier som skall illustrera framtida mänsklig påverkan på förvaret.
- E. Fördjupad beskrivning och analys av de valda scenarierna.

Som ett led i att formulera och genomföra denna strategi har SKB initierat tre arbetsmöten (workshops).

I december 1997 organiserade SKB en workshop om ”Framtida mänskliga handlingar som kan påverka säkerheten hos förvar för radioaktivt avfall”. (Se: kapitel 2 Skebo Herrgård 9–10 december 1997.)

Bakgrunden och syftet med workshopen beskrevs som följande:

”SKB håller för närvarande på och genomför en komplett säkerhetsanalys av hanteringen av kärnkraftens radioaktiva avfall. En del av denna säkerhetsanalys är utvärderingen av förvarets säkerhet efter förslutning och långt in i framtiden. Workshopens ämne är hur framtida mänskliga handlingar, efter det förvaret stängts, kan påverka förvarets långtida säkerhet.

SKI har i sin granskning av SKB:s Forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprogram, FUD 95, ålagt SKB att utveckla en strategi för hur frågor runt mänskliga handlingar ska hanteras i säkerhetsanalysen.

Syftet med workshopen är

- att stödja valet och formuleringen av scenarier med anknytning till mänskliga handlingar i den pågående säkerhetsanalysen
- att bidra med uppslag till hur en strategi att hantera denna typ av scenarier ska se ut.”

I mars 1998 genomförde SKB workshopen ”Scenarier baserade på mänskliga handlingar – tekniska aspekter” (se avsnitt 3 IVA, 25 mars 1998). Där avhandlades strategins punkt A och B. Utgångspunkten var systembeskrivningen. De handlingar som bedömdes ha störst inverkan på förvaret innebär någon form av mekanisk påverkan, till exempel att borra eller spränga.

En tredje workshop genomfördes den 28–29 maj 1998 inom ramen för den här beskrivna studien: ”Samhällsscenarier om mänskliga handlingar som kan påverka djupförvaret i långtidsperspektiv”. Denna workshop syftade till att formulera och undersöka ett brett spektrum av möjliga framtida samhällsformer i Sverige, vilka skulle kunna relateras till möjliga mänskliga handlingar som kan störa djupförvaret och orsaka radioaktivt utsläpp.

Syfte

Studien syftade till att ta fram ramscenarier (ramvillkor) som beskriver trovärdiga samhällsliga sammanhang för framtida mänskliga handlingar som kan påverka djupförvarets radiologiska säkerhet.

4.2 Avgränsningar

Framtidsbilderna skall ses som bakgrundsbeskrivningar, dvs skall endast utgöra trovärdiga samhällsliga sammanhang för olika möjliga mänskliga handlingar med säkerhetsmässiga och/eller radiologiska konsekvenser. I nuläget är de inte avsedda att utgöra grund för att analysera de samhällsliga konsekvenserna av olika eventuella radioaktiva utsläpp.

Det är viktigt att undersöka och identifiera trovärdiga motiv för varför människor, i olika sociotekniska framtidssituationer, skulle störa förvaret. Det nuvarande arbetet syftar endast till att undersöka oavsiktliga motiv.

Tidsperspektivet är begränsat till 50–500 år fram i tiden. Avgränsningen är motiverad av att det inte är meningsfullt att spekulera om vad som är ett möjligt, sannolikt eller troligt mänskligt handlande i mycket långa tidsperspektiv (se Metod och metodologiska problem nedan).

4.3 Mänskliga handlingar

Baserat på systembeskrivningen av förvaret tog en grupp experter i mars 1998 fram en lista över mänskliga handlingar med potentiell inverkan på djupförvarets säkerhet. Dessa handlingar kategoriserades i: Termisk påverkan, hydrologisk påverkan, mekanisk påverkan och kemisk påverkan (se kapitel 3). Följande handlingar bedömdes vara tekniskt rimliga och kunna ha större betydelse för säkerheten:

- Bygga värmelager
- Bygga värmepumpsanläggning
- Anlägga brunn
- Bygga anläggning för vattenkraft innefattande djupa bergrum
- Bygga anläggning för bevattning innefattande brunn

- Borra i berget
- Bygga bergrum, tunnel, schakt etc.
- Anlägga djupt dagbrott
- Förvara miljöfarligt avfall

Samtliga dessa handlingar innebär att man borrar och/eller bygger i berget.

4.4 Metod och metodologiska problem

Människan kan inte se in i framtiden. När det gäller den nära framtiden, säg tio år framåt, kan vi – i bästa fall – identifiera några viktiga parametrar (variabler eller faktorer) som vi sedan kan variera och förena på olika sätt för att åskådliggöra möjliga utfallsramar. Men när vi betraktar tidsperioder som är längre kan vi inte ens med någon säkerhet identifiera de relevanta parametrarna. När det gäller tidsperioder som den här studerade, från 50–500 år, är människans och samhällets framtid *helt överskådlig*. Detta beror på att vi har att göra med s k *obestämd osäkerhet*.

”Osäkerhet är *bestämd* (ibland kallad *specificerad*) om utfallsrummet för osäkerheten är väl definierat och komplett – dvs om alla möjliga utfall för det man är osäker på är kända. Man vet inte vilket utfall det blir, men fenomenets spektrum av möjligheter är bestämt (specificerat), antingen kvantitativt eller genom kvalitativt definierbara kategorier.

Osäkerhet är *obestämd* (alt *ospecificerad*) om det totala utfallsrummet inte är känt, dvs inte kan beskrivas på ett komplett sätt eller med (på förhand) givna mått eller kategorier.

Ett exempel på bestämd osäkerhet är: Vad blir Sveriges invånarantal år 2500? I detta fall (om man entydigt definierar vad en ”invånare” är) kan man uppge ett heltal från noll och uppåt.

Ett exempel på obestämd osäkerhet är: Vilka grundläggande vetenskapliga upptäckter kommer att ske under de kommande 500 åren?

Vi kan här se att obestämd osäkerhet är av en helt annan karaktär än bestämd osäkerhet – det handlar om olika typer av frågor. Långtidsutsikterna för grundläggande vetenskapliga upptäckter och utveckling av nya vetenskapliga principer är, *i princip*, oförutsägbara.

Den obestämda osäkerheten (dvs vi kan inte bestämma eller specificera utfallsrummet) gör att det inte finns någon formell vetenskaplig metod för länge tids historisk prediktion. Resonemanget (fört bl a av Karl Popper) är enkelt och övertygande: Om den mänskliga historien är starkt beroende av den mänskliga kunskapens och vetenskapens utveckling, kan vi aldrig – utifrån nuvarande kunskap – förutsäga hur framtidens vetenskapliga kunskap kommer att utvecklas. Det finns inte någon formell, vetenskaplig metod för att förutsäga kunskap som vi just nu inte vet någonting om.

Alltså: Långtidsutsikterna för grundläggande vetenskapliga upptäckter och utvecklingen av nya vetenskapliga principer är, *i princip*, oförutsägbara. Eftersom grundläggande vetenskaplig kunskap är starkt kopplad till teknologisk innovation och tekno-produktiva tillämpningar, kan vi heller inte säga något – med någon säkerhet – om vad som är *möjligt eller omöjligt* när det gäller människans förmåga att påverka eller utveckla naturen, samhället och sig själv.” /4-1/.

Om och när människan till exempel kan kontrollera biosfären och klimatet, medvetet styra den biologiska evolutionen eller förändra vad vi idag betraktar som naturens fysikaliska grundlagar, då lever hon under helt andra sociala, fysiska och biologiska betingelser än (vad vi är medvetna om) idag.

I det mycket långa tidsperspektivet, 500 år och uppåt, är alla utsagor om vad som är möjligt, sannolikt och trovärdigt eller var de "naturliga gränserna" går, helt intetsägande. Det enda vi kan göra är att – utifrån dagens kunskap samt en medvetenhet om vår principiella okunskap om framtiden – gissa oss fram till några generella, alternativa framtids-situationer baserade på mycket generella "mer eller mindre"-parametrar.

4.5 Tillvägagångssätt

Den 28-29 maj 1998 genomförde SKB i samarbete med FOA workshopen "Samhälls-scenarier om mänskliga handlingar som kan påverka djupförvaret i långtidsperspektiv". Denna workshop avhandlade strategins punkt C (Analys av samhällsfaktorer och samhällsförhållanden som kan påverka mänskliga handlingar) och hade som en utgångspunkt de i strategins punkt A definierade mänskliga handlingarna.

Under workshopen och vid efterföljande analys har vi använt en metod som heter *morfologisk analys (MA) /4-2/*, stött av datorprogrammet CASPER (Computer Aided Scenario and Problem Evaluation Routine) (se Bilaga C).

I workshopen deltog docent Sune Berger, Kulturgeografiska Institutionen, Uppsala Universitet; professor Bo Lenntorp, Kulturgeografiska Institutionen, Stockholms Universitet; fil dr Hans Weinberger, Avd för teknik- och vetenskapshistoria, KTH och professor Sture Öberg, Kulturgeografiska Institutionen, Uppsala Universitet. Från SKB deltog Lena Morén. Tom Ritchey (FOA) och Maria Stenström (FOA) ledde workshopen och gjorde den efterföljande analysen. De sistnämnda är ansvariga för det slutliga innehållet i denna rapport, som inte nödvändigtvis speglar de olika deltagarnas åsikter.

4.6 Parametrar och parameterrymd

4.6.1 Parametrar

Arbetsgruppen identifierade och diskuterade i ett första steg följande tio parametrar:

- **Klimatförhållanden** kring förvaret
- **Bebyggelse-** och demografiskt **mönster** på eller nära intill förvaret
- **Allmän vetenskaps- och kunskapsnivå** i samhället relativt idag
- Teknologisk "nivå" på samhällets fysiska **infrastruktur** relativt idag
- Kapacitet i samhällets **transportsystem**
- Kapacitet i samhällets **informationssystem**
- **Kunskap** i samhället **om förvarets** existens

- Existens av och effektivitet hos **samhällets kontrollmekanismer** och regelverk
- Legitimitet i **samhällsstyret** och graden av styrbarhet
- **Syfte** med att störa förvaret¹

I ett andra steg reducerade gruppen antalet parametrar till sju, vilket är det optimala för en arbetsgrupp när man har en tidsbegränsning på 12–16 timmar. Tre parametrar fick utgå:

1. *Klimatförhållanden* kan ses som en beroende – t o m kontrollerad – variabel i framtiden. Den kan uttryckas indirekt i de geo-demografiska parametrarna *Bebyggelsemönster*, *Allmän vetenskaps- och kunskapsnivå* och/eller *Infrastruktur*
2. *Infrastruktur* uttrycks indirekt under *Transportsystem* och *Informationssystem*.
3. *Sambällskontroll* ersattes av *Samhällsskick*, som gruppen ansåg vara en mer preciserad parameter.

Den slutliga parameterrymden som gruppen utformade (ett morfologiskt fält) visas i figur 4-1.

Bebyggelsemönster (geo-demo)	Allmän veten- & kunskapsnivå	Transportsystem	Infosystem	Kunskap om förvaret	Samhällsskick (legit & styr)	Syfte med störning
Megalopolis	Mycket hög hos elit	Ökad kapacitet	Ökad kapacitet	Allmänt känt	Legitimt Ostyrbart	Hämta annan resurs/bygga
X-stad	Allmänt högt (mycket högre än idag)	Som idag	Som idag	"Elit" känt	Legitimt Styrbart	Ta upp som resurs
Gles	Som idag	Minskad kapacitet	Minskad kapacitet	Lokalt känt (bara)	Olegitimt Styrbart	Kontrollera förvaret
	Sämre än idag	Förfall	Förfall	Borta	Olegitimt Ostyrbart	Kartering/undersökning
						Sabotage

Figur 4-1. Det morfologiska fältet gruppen arbetade med.

¹I det nuvarande arbetsläget skall endast oavsiktliga motiv undersökas. Av metodologiska skäl är det dock viktigt att först identifiera och definiera en bredare uppsättning ramvariabler, som inkluderar såväl avsiktliga som oavsiktliga motiv och som eventuellt kan ligga till grund för en konsekvensanalys. För att få ett bra perspektiv på motiven bakom *oavsiktliga* intrång i förvaret, bör man därför undersöka dessa inom ramen för *alla* möjliga motiv.

4.6.2 Parameterrymd

- **Bebyggelsemönster:** Geo-demografiskt mönster på eller nära intill förvaret
 - Megalopolis – De flesta bor i mycket stora ”moderna” städer (av typen Manhattan, Tokyo, Los Angeles)
 - X-stad – De flesta bor i städer och tätorter som är fördelade på olika storlekar² (ungefär som Sverige idag)
 - Glest – Bebyggelsen är utspridd på en stor yta. ”Glest modernt” (som Island, Canada idag) eller ”glest förfall”
- **Allmän vetenskaps- och kunskapsnivå:** relativt västvärlden idag
 - Mycket hög, men endast hos en elit
 - Mycket hög hos allmänheten
 - Ungefär som idag
 - Betydligt sämre
- **Transportsystem:** relativt västvärlden idag
 - Väsentligt ökad kapacitet (snabbare, mer effektivt, tillförlitligt, tillgängligare, billigare, renare)
 - Som idag eller något ökad kapacitet
 - Minskad kapacitet
 - Förfall – innebär att något händer som gör att utvecklingen går i en nedbrytande riktning. Det kan vara krig, miljöförstöring och/eller naturkatastrofer som föröder resurserna så att de inte går att återställa, än mindre fortsätta att utveckla. Detta kan ske mer eller mindre dramatiskt, över lång eller kort tid.
- **Informationssystem:** relativt västvärlden idag
 - Väsentligt ökad kapacitet
 - Som idag eller något ökad kapacitet
 - Minskad kapacitet
 - Förfall (se ovan)
- **Kunskap om förvaret:** Existens, egenskaper och läge
 - Allmänt känt
 - Känt endast av en elit
 - Bara lokalt känt (Exempel: Den lokala befolkningen har ”ryktet” eller ”myten” om förvaret kvar som en del av sin lokala kultur).
 - Borta

² "Rank size": det finns ett linjärt avtagande samband mellan storlek och antal.

- **Samhällsskick:** Legitimitet hos styrelseform och relativ styrbarhet i samhället. Legitimitet beskriver i vilken utsträckning befolkningen ger de styrande sitt godkännande och stöd. Styrbarhet beskriver vilken utsträckning befolkningen följer de lagar och regler som de styrande beslutar om.
 - Hög legitimitet och styrbart samhällssystem (nuvarande Sverige el. Holland)
 - Hög legitimitet och svårstyrt samhällssystem (nuvarande USA)
 - Låg legitimitet och styrbart samhällssystem (nuvarande Nordkorea)
 - Låg legitimitet och svårstyrt samhällssystem (nuvarande Ryssland)
- **Syfte:** med att störa förvaret
 - Att hämta upp en annan resurs än det radioaktiva avfallet eller att bygga något i berget (förvaret okänt)
 - Att ta upp avfallet som resurs eller för att omplacera det
 - Att kontrollera förvaret och dess säkerhet
 - Att kartera och undersöka området (förvaret okänt)
 - Att sabotera förvaret, bedriva utpressning m m, dvs. ond avsikt

4.7 Analys av Lösningrymden

Den framtagna parameterrymden innehåller 15.360 formellt möjliga konfigurationer eller ramscenarier, av vilka bara en bråkdel är konsekvent sammanhängande, dvs de innehåller inte interna motsägelser. Två av dessa ramscenarier, som representerar två vitt skilda framtider, visas i figur 4-2 och 4-3.

Bebyggelsemönster (geo-demo)	Allmän veten- & kunskapsnivå	Transport system	Infosystem	Kunskap om förvaret	Samhällsskick (legit & styr)	Syfte med störning
Megalopolis	Mycket hög hos elit	Ökad kapacitet	Ökad kapacitet	Allmänt känt	Legitimt Ostyrbart	Hämta annan resurs/bygga
X-stad	Allmänt högt (mycket högre än idag)	Som idag	Som idag	"Elit" känt	Legitimt Styrbart	Ta upp som resurs
Gles	Som idag	Minskad kapacitet	Minskad kapacitet	Lokalt känt (bara)	Olegitimt Styrbart	Kontrollera förvaret
	Sämrre än idag	Förfall	Förfall	Borta	Olegitimt Ostyrbart	Kartering/ undersökning
						Sabotage

Figur 4-2. Ett ramscenario som visar en möjlig framtid.

Bebyggelse-mönster (geo-demo)	Allmän veten- & kunskaps-nivå	Transport-system	Infosystem	Kunskap om förvaret	Samhällsskick (legit & styr)	Syfte med störning
Megalopolis	Mycket hög hos elit	Ökad kapacitet	Ökad kapacitet	Allmänt känt	Legitimt Ostyrbart	Hämta annan resurs/bygga
X-stad	Allmänt högt (mycket högre än idag)	Som idag	Som idag	"Elit" känt	Legitimt Styrbart	Ta upp som resurs
Gles	Som idag	Minskad kapacitet	Minskad kapacitet	Lokalt känt (bara)	Olegitimt Styrbart	Kontrollera förvaret
	Sämre än idag	Förfall	Förfall	Borta	Olegitimt Ostyrbart	Kartering/ undersökning
						Sabotage

Figur 4-3. Ett ramscenario som visar en möjlig framtid som skiljer sig från den i figur 4-2.

Vid analysen undersöks det morfologiska fältet med syftet att finna interna samband, mönster och konsekventa konfigurationer. Undersökningen av totalantalet internt konsekventa konfigurationer, dvs lösningsrymden, visade att tre parametrar dominerade:

1. Den allmänna vetenskaps- och kunskapsnivån,
2. Kunskapen om förvarets existens samt
3. Avsiktligheten när det gäller störning av förvaret.

Vid analysen tillkom en ny (fjärde) parameter, som beskriver den socio-tekniska utvecklingsprocessen som kontinuerlig eller diskontinuerlig. En diskontinuerlig utveckling kan t ex innebära att samhället återhämtar sig efter ett nära nog totalt sammanbrott. Fältet antog då utseendet som visas i figur 4-4.

Allmän vet & kunskapsnivå	Kunskap om förvaret	Syfte med störning	Samhälls-utvecklingsprocess
Mycket hög hos elit	Allmänt känt	Hämta annan resurs eller bygga	Kontinuerlig
Allmänt högt (mycket högre än idag)	"Elit" känt	Ta upp som resurs	Diskontinuerlig
Som idag	Lokalt känt (bara)	Kontrollera förvaret	
Sämre än idag	Borta	Kartering/ undersökning	
		Sabotage	

Figur 4.4. Det morfologiska fältet efter analysen.

I denna lösningsrymd finns det fyra internt konsekventa ramscenarier som rör oavsiktlig störning. Ramscenarierna för oavsiktliga störningar finns sammanfattade i Scenarietabell (sist i detta kapitel). Där finns också fyra exempel på avsiktliga störningar.

Allmän vet & kunskapsnivå	Kunskap om förvaret	Syfte med störning	Samhälls-utvecklingsprocess
Mycket hög hos elit	Allmänt känt	Hämta annan resurs eller bygga	Kontinuerlig
Allmänt högt (mycket högre än idag)	"Elit" känt	Ta upp som resurs	Diskontinuerlig
Som idag	Lokalt känt (bara)	Kontrollera förvaret	
Sämre än idag	Borta	Kartering/undersökning	
		Sabotage	

Figur 4-5. Rams scenariet "Det lutande planet".

4.7.1 Det lutande planet

Det lutande planet är ett scenario som beskriver ett samhälle i fortskridande förfall. Den allmänna vetenskapliga och kunskapsnivån är lägre än i västvärlden idag. Kunskapen om förvaret är borta. Förvaret kan i detta samhälle komma att störas oavsiktligt. Man bygger något i berget vid förvaret, t. ex. i syfte att hämta upp en resurs. Ett annat syfte kan vara att man borrar i berget för att kartera eller undersöka området.

4.7.2 Kollapsen

Kollapsen innebär att en dramatisk händelseutveckling har inträffat och vi att befinner oss i en period efter ett (möjligtvis globalt) samhälleligt sammanbrott. Den allmänna kunskapsnivån är lägre än idag och kunskapen om förvaret är antingen borta eller finns bara lokalt i form av en lokal kultur som bygger på myter och historier. Förvaret kan i detta samhälle (liksom i Det lutande planet) komma att störas oavsiktligt. Som ovan, bygger man något i berget vid förvaret t. ex. i syfte att hämta upp en resurs, eller borrar man i berget för att kartera eller undersöka området.

Allmän vet & kunskapsnivå	Kunskap om förvaret	Syfte med störning	Samhälls-utvecklingsprocess
Mycket hög hos elit	Allmänt känt	Hämta annan resurs eller bygga	Kontinuerlig
Allmänt högt (mycket högre än idag)	"Elit" känt	Ta upp som resurs	Diskontinuerlig
Som idag	Lokalt känt (bara)	Kontrollera förvaret	
Sämre än idag	Borta	Kartering/undersökning	
		Sabotage	

Figur 4-6. Rams scenariet "Kollapsen".

Allmän vet & kunskapsnivå	Kunskap om förvaret	Syfte med störning	Samhälls-utvecklingsprocess
Mycket hög hos elit	Allmänt känt	Hämta annan resurs eller bygga	Kontinuerlig
Allmänt högt (mycket högre än idag)	"Elit" känt	Ta upp som resurs	Diskontinuerlig
Som idag	Lokalt känt (bara)	Kontrollera förvaret	
Sämlre än idag	Borta	Kartering/undersökning	
		Sabotage	

Figur 4-7. Ramscenariet "Återhämtningen".

4.7.3 Återhämtningen

Återhämtningen innebär att en dramatisk händelseutveckling har inträffat och att vi befinner oss i en period efter sammanbrottet (diskontinuitet i samhällsutvecklingen). Till skillnad från "kollapsen", har samhället byggts upp på nytt. Den allmänna kunskapsnivån är högre än i västvärlden idag. Kunskapen om förvaret har dock gått förlorad. Syftet med störningen är som ovan, men konsekvenserna kan vara annorlunda.

4.7.4 Selektiv glömska

Selektiv glömska innebär att viss kunskap försvunnit även om kunskapsnivån i stort har ökat. På grund av ny (för närvarande okänd eller "ospecificerad") kunskapsutveckling kan andra, specifika kunskapsområden falla i träda. Fissionskraften och därmed nuvarande kärnkraftsteknologi blir överspelad av radikalt nya energiteknologier (t. ex. fusionskraft, fotosyntes, vakuumentergi). Kärnavfall är inte längre en viktig och omdebatterad fråga, förvaringsplatsen överges och så småningom glöms förvaret bort.

Allmän vet & kunskapsnivå	Kunskap om förvaret	Syfte med störning	Samhälls-utvecklingsprocess
Mycket hög hos elit	Allmänt känt	Hämta annan resurs eller bygga	Kontinuerlig
Allmänt högt (mycket högre än idag)	"Elit" känt	Ta upp som resurs	Diskontinuerlig
Som idag	Lokalt känt (bara)	Kontrollera förvaret	
Sämlre än idag	Borta	Kartering/undersökning	
		Sabotage	

Figur 4-8. Ramscenariet "Återhämtningen".

4.8 Slutsatser

- Det går att hitta (föreställa sig) internt konsistenta och rimliga samhällscenarier där oavsiktliga mänskliga handlingar kan leda till påverkan på förvaret.
- Det är svårt att föreställa sig att en kontinuerlig samhällsutveckling med hög kunskapsnivå skulle kunna leda till oavsiktliga intrång i förvaret med stor skada för samhället som följd. Det går dock inte att helt utesluta eftersom det långa tidsperspektivet innehåller möjlighet för en idag helt okänd kunskapsutveckling ("ospecificerad osäkerhet") och risk för "selektiv glömska".
- Det finns i det långa tidsperspektivet inga institutioner som kan garantera att kunskap om förvaret bibehålls, oavsett om samhällsutvecklingen är gynnsam eller ogynnsam. Vid kollaps eller långsamt förfall är det rimligt att anta att institutioner bryts ned. Vid kollaps och återhämtning finns det också risk att institutionell kunskap går förlorad.
- Avsiktlig mänsklig påverkan är, inte helt förvånande, ett mycket större och mer komplicerat fält att utforska än oavsiktlig.

Referenser

Kapitel 1

- 1-1 OECD NEA, 1995, Future Human Actions at Disposal Sites
A report from the NEA Working Group on Assessment of Future Human Actions
at Radioactive Waste Disposal Sites

Kapitel 3

- 3-1 Se 1-1

Kapitel 4

- 4-1 Ritchey T, 1997, Omvärlden år 2021 – Fyra globala scenarier
Stockholm: Naturvårdsverket Förlag
- 4-2 Ritchey T, 1998, Fritz Zwicky, Morphologie and Policy Analysis, FOA

1 Deltagare vid arbetsmötena

Deltagare och grupper vid Skebo

Deltagare	Organisation m m	Arbetsgrupp vid Skebo
Jan Carlsson	SKB Slutförvaring av kortlivat avfall	Grupp A
Per-Olof Hallin	Lunds Universitet Institutet för kulturgeografi och konomisk geografi	Grupp A
Ulrik Kautsky	SKB Biosfär	Grupp A
Lena Morén	SKB Säkerhetsanalyser	Grupp A
Carl Johan Nässén	Östhammars kommun Referensgruppen	Grupp A
Tom Ritchey	FOA Förvarsanalys	Grupp A
Torsten Eng	SKB Förstudier	Grupp B
Rune Palm	Stockholms Universitet Institutionen för nordiska språk	Grupp B
Maria Stenström	FOA Förvarsanalys	Grupp B
Göran Sundqvist	Göteborgs Universitet Avdelningen för humanteknologi Institutionen för tvärvetenskapliga studier av människans villkor	Grupp B
Marie Wiborgh	Kemakta Miljökonsult	Grupp B

2 Deltagare vid IVA

Deltagare	Organisation m m
Jan Carlsson	SKB Slutförvaring av kortlivat avfall
Lars O Ericsson	SKB Forskning och utveckling – Geologi
Fred Karlsson	SKB Forskning och utveckling – Kemi
Ulrik Kautsky	SKB Forskning och utveckling – Biosfär
Harry Larsson	ROX
Lena Morén	SKB Forskning och utveckling – Säkerhetsanalys
Jan-Olov Selros	SKB Forskning och utveckling – Säkerhetsanalys
Marie Wiborgh	Kemakta

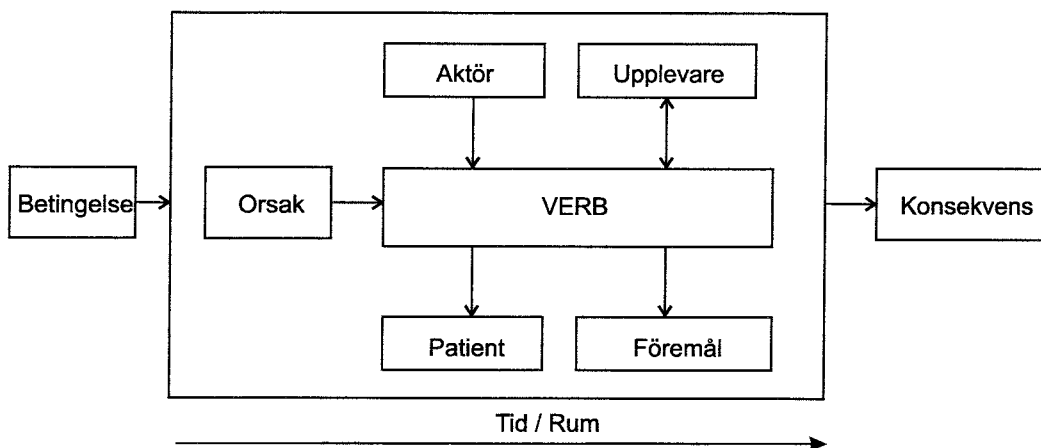
3 Deltagare vid Frösundavik

Deltagare	Organisation m m
Sune Berger Docent	Uppsala Universitet Kulturgeografiska Institutionen
Bo Lenntorp Professor	Stockholms Universitet Kulturgeografiska Institutionen
Lena Morén	SKB Forskning och utveckling
Tom Ritchey	FOA Försvarsanalys
Maria Stenström	FOA Försvarsanalys
Hans Weinberger Fil dr	KTH Avdelningen för teknik- och vetenskapshistoria
Sture Öberg Professor	Uppsala Universitet Kulturgeografiska Institutionen

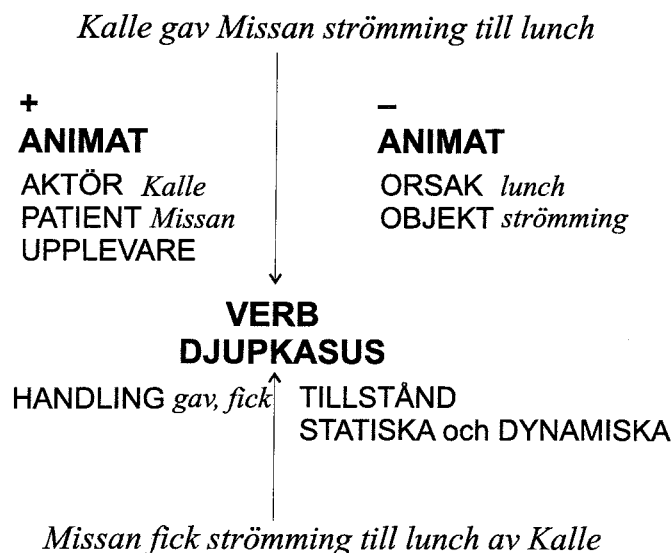
Analysmetoder presenterade vid Skebo

1 Semantisk analys

Semantisk analys är en metod som används inom språkvetenskap för att analysera meningars och ords betydelse. Den kan komma till användning i detta sammanhang t ex för att göra definitioner tydliga. Den semantiska analysen utgår från meningen och syftar till att beskriva relationer och abstrakta mönster. Enligt modellen kräver olika verb (dvs handlingar, händelser eller tillstånd) olika roller. De vanligaste rollerna anges av figuren nedan:



I exemplet nedan kan vi se hur de båda varianterna av meningen tolkas likadant oberoende av formulering. Så skulle ej vara fallet om traditionella satsdelar (subjekt, predikat m fl) tagits ut.



2 Morfologisk analys

Morfologisk analys beskrivs som en grupporienterad metod för att strukturera och analysera komplexa problemområden som:

- inte är kvantifierbara
- innehåller icke bestämbara osäkerheter
- inte kan simuleras med matematiska modeller
- (utan) kräver ett bedömningsmässigt angreppssätt

Metoden – som utvecklats på FOA – kan användas för att formulera sammanhängande (internt konsistenta) framtidsbilder och scenarier samt att analysera komplexa policyfält och socio-tekniska problemområden.

Metoden är interaktiv och process orienterad. För att genomföras och dokumenteras på ett strukturerat och härledningsbart sätt krävs datorstöd. Man arbetar med ett s k morfologiskt fält, dvs en matris som beskriver problemområdets dimensioner och utfallsrum. Kolumnernas rubriker anger de väsentliga parametrar (faktorer eller variabler) som problemställningen ska baseras på. På raderna anges de alternativa värden eller tillstånd som varje parameter kan ha. Styrande variabler och sammanhängande kombinationer av tillstånd tas fram genom en "intern-konsekvens-analys". De mest konsekventa kombinationerna identifieras, och likartade kombinationer grupperas till ett antal bas/konfigurationer. Ett exempel på en bas/konfiguration, som behandlar mänskliga aktiviteter vid ett djupförvar, visas på nästa sida.

Kunskap Allmän	Kunskap Förvaret	Samhällskontroll	Samhälle	Befolkning	Uppsåt Avsikt	Orsak	Metod
Som idag	Lätt tillgänglig	Som idag	Som idag	Som idag	Oavsiktlig	Byggande	Termisk påverkan
Mycket låg	Delvis tillgänglig	Stark	Bonde-samhälle	Gles	Avsiktlig Egenintresse	Avfallet en resurs	Via vatten Kem/Biol
Högre än idag	Borta	Svag	Hög-teknologiskt	Tät i vissa regioner	Avsiktlig Allmänintr	Kontroll	Borra
Homogen		Kollaps		Allmänt tät	Avsiktlig Ont uppsåt	Kartering	Gräva
Starkt polariserad						Nyfikenhet	Spränga
						Sabotage	

* Matrisen innehåller mer än 80 000 möjliga enkla konfigurationer, men endast en bråkdel av dessa är internt konsistenta.

Litteratur

Kapitel 1

Jørgensen N, Svenson J, 1986, Nusvensk grammatik, Gleerups förlag, Lund, s 86–91.

Svartholm K, 1977, Djupkasusteorin, Stockholms universitet.

Kapitel 2

Rhyne R, 1981, Whole-Pattern Futures Projection, Using Field Anomaly Relaxation Technological Forecasting and Social Change 19, 331–360.

Ritchey T, 1991, Analysis and Synthesis: On Scientific Method Based on a Study of Bernhard Riemann Systems Research 8 (4) 21–41.

Ritchey T, 1997, Scenario Development and Risk Management using Morphological Field Analysis Proceedings of the 5th European Conference on Information Systems (Cork: Cork Publishing Company) Vol 3:1053–1059.

Zwicky F, 1966, Discovery, Invention, Research Through the Morphological Approach: Macmillan Company, Toronto.

Scenario development and risk management using morphological field analysis¹

Tom Ritchey, FOA

Abstract

Developing futures scenarios and risk management strategies continues to confront us with a number of difficult methodological problems:

1. most of the factors involved are non-quantifiable, since they contain strong social and political dimensions;
2. the uncertainties inherent in such problems often cannot be fully specified; and
3. the actual process by which conclusions are reached is seldom traceable – i.e. we have little scientific control over results.

To meet this challenge, FOA has developed a computerised support system – essentially a computer aided method – to treat multi-dimensional problem complexes, which are difficult or impossible to quantify, in a traceable manner. The system – CASPER: Computer Aided Scenario and Problem Evaluation Routine – facilitates what is variously known as morphological field analysis, whole pattern futures projection and field anomaly relaxation.

1 Introduction

During the past three years, the program for Civil Preparedness and Crisis Management at the Swedish Defence Research Establishment (FOA) has been working with a number of government authorities and large private companies in developing futures scenarios and risk management strategies. Work in this area has – and continues – to confront us with a number of difficult methodological problems, inter alia:

1. Most of the factors involved in these studies are non-quantifiable, since they contain strong social-political dimensions and conscious self-reference among actors. This means that traditional, quantitative methods, causal modelling and simulation is – at best – useless.

¹This is an adaptation of a paper delivered at the Fifth European Conference on Information Systems held in Cork, Ireland, 19-21 June, 1997. Dr. Tom Ritchey is Director of Research at the National Defence Research Establishment in Stockholm. Address: FOA, 172 90 Stockholm. Tel: +46-8-706 38 57; Fax: +46-8-706 38 68; email: ritchey@sto.foa.se.

2. The uncertainties inherent in such problems are in principle non-reducible, and often cannot be fully described or delineated (unspecified uncertainty). This means that "prognoses" made on the basis of probabilities or "the most likely future" should absolutely be avoided in favour of a range of plausible, internally consistent alternative futures.
3. The actual process by which conclusions are reached is seldom traceable – i.e. we have no adequate documentation (in the form of an audit trail) of the logic or trains of thought which went into the process of getting from initial problem formulation to conclusions. We thus have little possibility of reproducibility or scientific control over results.

To help meet this challenge, FOA has developed a computerised support system called CASPER: Computer Aided Scenario and Problem Evaluation Routine. CASPER is a group oriented, method support tool for structuring, analysing and evaluating multi-dimensional social, political and technical problem complexes which do not lend themselves to quantification. It contains no ready-made solutions or sophisticated numerical methods, but instead is designed to foster good scientific method for analysing complex problems and synthesising alternative outcomes or scenarios in a traceable manner.

It can be used for general or specific scenario development, for the analysis of multidimensional problem complexes, for developing awareness in scientific or political working groups, and for education and training. It has been developed in order to facilitate group work and co-operation both between different scientific disciplines and technical areas, and between authorities in different sectors and at different societal levels.

The method supports the following processes:

- to define and structure the dimensions of complex problems which do not easily lend themselves to quantification,
- to analyse the possible range of conditions which these dimensions can express,
- to evaluate consistent sets of relationships within these complexes and to synthesise plausible, internally consistent outcomes or "scenarios" which they can generate, and
- to document and display the outcomes in a way that provides a good overview of the total problem complexity and allows for an audit trail.

The method employed was developed on the basis of research done between 1945-1970 by, among others, Kurt Lewin, ("sociological field theory") (Lewin, 1952), Fritz Zwicky ("morphological analysis") (Zwicky, 1966) and A G Wilson ("non-quantified modelling") (Zwicky & Wilsson, 1967) and R. Rhyne ("Field anomaly relaxation") (Rhyne, 1981).

The method is primarily based on defining a configuration space representing the variables and conditions of the problem complex being addressed (i.e. a morphological field), and on a special form of cross-impact analysis relying on internal consistency or coherence, rather than on causal relations.

In this short presentation – representing work in progress – I will discuss the general characteristics of and philosophy behind this method, rather than its technical details.

2 A process tool

A modern computerised support system like CASPER is a group-oriented thinking aid designed primarily as a process or method-support tool – i.e. it is the process that the working group goes through in using the tool which is the most important result. The traditional "end result" – i.e. the concrete product which comes out of the work process – is a structured overview of the total problem-field, a representation of the specific conclusions drawn and a traceable documentation of the process involved in arriving at those conclusions.

It is most important to understand the distinction between tools designed and employed to enhance a process – the process itself generating the results – and tools which are designed to generate specific answers by manipulating numerical input.

There is a very expensive history of developing large simulation models on mainframes – models representing social or economic processes and requiring masses of highly uncertain, dubiously formulated quantities – and running such quantities through numerous "black boxes" called algorithms. The "answers" flowing out of such large, naive simulation models were often worse than useless; they could be downright dangerous if used uncritically as a basis for making decisions. (I feel qualified to comment critically on this matter, since I was wholeheartedly engaged in such activities during the 1970's.)

3 Theory and method

In working with long-term planning is it useless to attempt to predict "the" future. Not even the short-term dynamics – let alone the long-term development – of society can be causally modelled with any success. Even if one could discover, or agree upon, all the causal laws involved, and gather what might seem to be the complete data set needed to drive those laws, we would still be in the dark about the actual path of future development. (One expression of this is Karl Popper's concern with the impossibility of a "theoretical history" (Popper, 1957): The evolution of human society is strongly dependent on the development of scientific knowledge, ideas and principles. We cannot, however, on the basis of present knowledge, predict what new scientific knowledge will emerge. Clearly, there is no formal, scientific method for predicting knowledge which we do not yet know about.)

The alternative to formal (mathematical) methods and causal modelling is "judgement". Causal modelling – when applicable – can, and should, be used as a aid to judgement; but at a certain level of wholeness (e.g. at the social, political and cognitive level), judgement must be used, and worked with, directly. How, then, can we put judgmental procedures on more solid methodological ground?

Historically, scientific knowledge develops through cycles of analysis and synthesis: every synthesis is built upon the results of a proceeding analysis, and every analysis requires a subsequent synthesis in order to verify and correct its results (Ritchey, 1991). However, analysis and synthesis – as basic scientific methods – say nothing about a problem having to be quantifiable. Complex societal problems can – on a sound scientific basis – be analysed into any number of non-quantifiable variables and a range of conditions for each of these variables.

Similarly, sets of non-quantifiable conditions can be synthesised into well defined relationships. In fact, we do this all the time: the virtually universal application of so-called four-fold tables to create simple categorical relationships and ideal types is the most obvious example of this.

In the cases we are dealing with here, however, the problem is to represent a much more complex set of relationships, and to have more stringent control over how these relationships can be combined. For this purpose, the notion of the morphological field and the technique of cross-consistency analysis was applied.

A morphological field is a complex configuration space (e.g. a matrix) defining a set of inter-related variables (dimensions), each with a range of (discrete) conditions which it can express. (See Figure 1, a segment of a CASPER-array developed during work with the Swedish National Rescue Services concerning the future of Sweden's bomb shelter program.)

The idea behind the morphological field is that no single variable is regarded as the dominant one, or "driver". Any variable – indeed any single condition associated with a variable – could, given the right historical circumstances, become a dominant driving force for the evolution of the entire field.

A "whole-pattern combination" is a configuration of conditions involving one condition from each variable (see example in Figure 2). Such a configuration represents a particular, well-defined state of the field. The number of possible states in a field is equal to the product of the number of conditions under each variable. For instance, for Figure 1, the number of possible states is $4 \times 3 \times 4 \times 4 \times 3 \times 4 = 2304$. (This is only a segment of an actual matrix used. A typical field can involve between 50 and 100 thousand possible configurations.)

However, not all combinations of conditions are plausible or internally consistent. For instance, in Figure 1, the Shelter Philosophy of "everyone receiving the same quality of shelter" is not consistent with the Functional Priority of "concentrating on technical support systems". To the extent that such a relationship is considered to be a blatant contradiction, then all those possible configurations containing this pair of conditions would also be internally inconsistent.

In this way, configurations containing inconsistent or contradictory relationships are weeded out of the total set of possible configurations by a process of cross-consistency judgement. This is done by constructing a cross-impact matrix (actually, a cross-consistency matrix) which sets each condition against every other condition, in a pair-wise manner. Each pair of conditions is then examined, and a judgement is made as to whether – or to what extent – the pair can coexist, i.e. represent a consistent relationship. Note that there is no reference here to causality, but only to internal consistency.

When one then examines all of the possible pair-wise relationships and all the possible configurations in a matrix (and for this it is handy to have a computer, which is just the thing to examine and rank 50,000 configurations), it is usually the case that more than 99% of the configurations are "relaxed", i.e. they fall out of the running because they contain some sort of internal contradiction. This allows one to concentrate on a manageable number (100-200) of internally consistent configurations. These can then be ranked and examined as elements of scenarios (see below) or specific outcomes in a multi-dimensional problem complex.

4 Using CASPER

CASPER guides users through a number of steps which represent the cited cycles of analysis and synthesis. However, as in all scientific work involving analysis-synthesis cycles, these "steps" are not to be thought of as a strict algorithm; the whole process is iterative and may need to be repeated a number of times until the working group begins to understand the nature of the problem being addressed. In this way, it is the very analysis/synthesis-process itself which is at least as valuable as any specific results obtained.

The iterative steps to be taken are:

Analysis phase

1. Identify/define variables: Identify and define the essential variables (factors, dimensions, indicators – there is no agreed upon terminology at this point) which one wants to consider in the problem complex or scenario. This is probably the most important step in the whole process and, depending on the nature of the problem, can take several hours to several days. One should work with 6-7 variables at a time. (See Figure 1, the 6 shaded column headings.)
2. Identify/define ranges of conditions: For each variable, define a range of relevant, discrete conditions which the variable can express. These should be as exhaustive as possible for the variable involved, and overlap a little as possible. (See Figure 1, the filled-in columns under each shaded column heading.)

Synthesis phase

3. Judge consistency between conditions: Make pair-wise comparisons of all conditions and give them some measure of consistency/inconsistency. It is usually at this point that the working group begins to understand that the variables and conditions posited in steps 1 and 2 were poorly defined – i.e. "we don't know what we are talking about yet". Steps 1 and 2 can now be reviewed and one can begin to iterate between steps 1, 2 and 3 until step 3 begins to work smoothly. This embodies a very important learning process.
4. Synthesise internally consistent configurations of conditions: Identify and rank the most consistent combinations of variable conditions, which include all of the variables. (CASPER works out this step.)
5. Create base-scenes: Identify and group clusters of similar configurations in order to create a number (usually 3–5) of base-scenes, which display good variation. (See Figure 2: an example of an internally consistent base-scene represented by CASPER. The term scene is used here to denote a simple configuration of internally consistent variable-conditions. A scene is a cross-section in time of a scenario.)
6. Iterate the process if necessary (which it usually is): Scrutinise the scenes and return to steps 1, 2 and 3 in order to adjust variables, alternatives and consistency measures. Do steps 4 and 5 again.

5 Continued research

So far, MFA (and CASPER) has been used with, among others, the Swedish Ministry of Defence (Long-Term Planning and Threat Assessment); the National Rescue Services (Assessing the future bomb-shelter program); the Swedish Environmental Protection Agency (Global Environmental Futures for the Year 2020, (Ritchey, 1997)), the National Board of Civil Emergency Management (Risk Management Policy); and the Swedish International Development Agency (Risk Analysis for Coastal Management Programs).

Future research will be directed towards applying MFA to new fields of study (e.g. future markets; management programs); developing better consistency measures (or scales) and criteria for consistency ranking; developing methods for stringing a number of scenes together and testing for sequential coherence, in order to produce plausible development over time; and testing the reproducibility of MFA cycles by supplying different working groups with identical variable/condition matrices to evaluate, and comparing the outcomes.

Geography: Where to place	Functional priorities	Size	Compensation for shortages	New vs. Existing	General philosophy
Concentrate on on metropolises	All socio- technical funcitons	Large and not crammed	Only in metropolises	More frequent maintenance + modernisation	Everyone has same shelter quality
All city centres with population >50,000	Technical support systems	Large and crammed	For some functions in 50,000 + cities	Build new only for defence build-up	Everyone takes same risk
Residential and countryside	Residential	Small and not crammed	Only for defence build-up period	Build new now	Priority on key personnel
No geographical priority		Small and crammed	No compensation for shortages		Priority on needy

Figure C-1. Segment of CASPER-array.

Geography: Where to place	Functional priorities	Size	Compensation for shortages	New vs. Existing	General philosophy
Concentrate on on metro- poles	All socio- technical funcitons	Large and not crammed	Only in metropolises	More frequent maintenance + modernisation	Everyone has same shelter quality
All city centres with population >50,000	Technical support systems	Large and crammed	For some functions in 50,000 + cities	Build new only for defence build-up	Everyone takes same risk
Residential and countryside	Residential	Small and not crammed	Only for defence build-up period	Build new now	Priority on key personnel
No geographical priority		Small and crammed	No compensation for shortages		Priority on needy

Figure C-2. Configuration example.

REFERENCES

- Lewin K, 1952, *Field Theory in Social Science*
Selected Theoretical Papers, Edited by Dorwin Cartwright, Tavistock Publications.
- Popper K R, 1957, *The poverty of historicism*
London: Routledge and K. Paul.
- Rhyne R, 1981, Whole-Pattern Futures Projection, Using Field Anomaly Relaxation
Technological Forecasting and Social Change 19, 331–360.
- Ritchey T, 1991, Analysis and Synthesis: On Scientific Method Based on a Study of
Bernhard Riemann
Systems Research 8 (4) 21–41.
- Ritchey T, 1997, *Omvärlden år 2021 – fyra globala scenarier*
Rapport 4726, Naturvårdsverket Förlag, Stockholm.
- Zwicky F, 1966, *Discovery, Invention, Research Through the Morphological Approach*:
Macmillan Company, Toronto.
- Zwicky F, Wilson A G (Eds.), 1967, *New Methods of Thought and Procedure*
Springer-Verlag, Berlin.