

# Jordskalv i slutförvaret för kärnavfall

Seminarium och utfrågning

**Samverkan Oskarshamn – Östhammar**



Oskarshamn 2006-03-15--16

## Förord

Frågan om det kan bli stora jordbävningar i samband med en istid som skulle kunna skada ett slutförvar för använt kärnbränsle har länge diskuterats. För att få mer klarhet i frågan hölls den 15e till 16e mars, 2006 ett seminarium efterföljt av en utfrågning i Oskarshamn. Seminariet och utfrågningen anordnades inom ramen för kommunal samverkan mellan Östhammar och Oskarshamn i slutförvarsfrågan (ÖSOS).

Bakgrunden var att SSI nyligen hade avslutat ett projekt med expertbedömningar om sannolikheten för stora jordbävningar. Det fanns flera orsaker till denna uppföljning av SSI: s projekt. För det första behövde resultaten kommuniceras med en större målgrupp än vad som dittills varit fallet. För det andra behövde resultaten sättas in i ett större sammanhang för att deras betydelse för säkerheten skulle kunna uppfattas och förstås, inte minst genom att SSI projektet kom att behandla bara en begränsad del av hela frågan om slutförvarets säkerhet under en istid, d.v.s. sannolikheten för stora jordbävningar. Seminariet var också en del av kommunernas uppföljning av det metodseminarium som ÖSOS anordnade år 2004 i Oskarshamn.

Denna rapport är en redigerad version av den bandade upptagningen från seminariet. Vi har tagit oss friheten att göra vissa redigeringar i texten med ambitionen att göra talspråket mer lättläst. Det är min förhoppning att detta inte lett till missförstånd så att det skrivna ordet fått en annan innebörd än det talade. Om någon föredragshållare eller paneldeltagare anser sig felciterad är jag tacksam för era synpunkter vilka vi självklart är beredda att delge samtliga som får del av denna dokumentation. Råutskriften finns att tillgå på LKO kontoret i Oskarshamn.

Jag vill passa på att tacka alla deltagare för givande presentationer och spännande och förtydligande frågor.

Kaj Nilsson  
Projektledare  
LKO-projektet

**INNEHÅLL**

Förord .....	2
Inledning av seminariet .....	4
Peter Wretlund, kommunstyrelsens ordförande, Oskarshamns kommun .....	4
Kjell Andersson, Säkerhetsgruppen, Oskarshamn kommun .....	5
Kan det bli kraftiga jordbävningar i samband med en istid?.....	7
Mikael Jensen, SSI - Expertbedömningsprojektet .....	7
Björn Lund, Uppsala Universitet .....	11
Nils Axel Mörner .....	15
Frågestund .....	20
Vad händer med berget?.....	26
Paleoseismisitet, Nils Axel Mörner.....	26
Raymond Munier, SKB.....	30
Ragnar Slunga, FoI.....	35
Kan man undvika riskerna för jordbävningar med respektavstånd i slutförvaret? .....	41
Harald Hökmark, SKB .....	41
Nils-Axel Mörner .....	42
Ragnar Slunga, FoI.....	44
Säkerhetsanalys och kravbild .....	50
Allan Hedin, SKB .....	50
Bo Strömberg, SKI.....	55
Björn Dverstorp, SSI .....	59
Utfrågning. Moderator: Göran Skytte .....	64
Sammanfattning .....	90
Inbjudan med program .....	92
Deltagarlista .....	96
Bilagor - OH	

## **Inledning av seminariet**

### ***Peter Wretlund, kommunstyrelsens ordförande, Oskarshamns kommun***

Peter Wretlund, kommunstyrelsens ordförande, hälsade alla välkomna på både Oskarshamns och Östhammars vägnar, till dessa dagar, där vi ska diskutera ett mycket spännande ämne. Detta sker inom ramen för ÖSOS-samarbetet (Samverkan Östhammar och Oskarshamn). Samarbetet grundar sig på ett samtal som vi hade för två, tre år sedan mellan de två kommunerna och vi har nu tre till fyra aktiviteter varje år. Jag är övertygad om att ÖSOS-samarbetet mellan våra kommuner skapar trygghet och stabilitet i vårt arbete.

Det andas också en ömsesidig respekt för varandra och även om det emellanåt finns aktörer som påstår något annat, vill jag mycket starkt stryka under att det finns en stark respekt för varandra och det är en oerhörd styrka för vårt arbete.

Kärnavfallsprocessen, mina vänner, är som ett långt lopp på skidor. Vi har hållit på länge att jobba och haft många relationer med myndigheter, kommuner och företag. Det är oerhört viktigt att vi håller huvudet högt och behåller kraften, orken och energin i den här processen, ända fram till målgången. Det är mycket enkelt att tappa fokus emellanåt och vi ser väl ändå att någonstans där framme, kommer någon form av avgörande och det är viktigt att vi håller stringensen i det här arbetet. Jag vill verkligen trycka på detta.

SSI har tagit initiativ till ett forskningsprojekt om expertbedömningar och när vi i vår kommun fick möjlighet att påverka vilka frågor som skulle expertutlåtas så valde vi för denna dag temat Jordskalv, före och under och efter en istid - Hur ofta kommer de att inträffa och hur kommer det att påverka ett slutförvar på 500 meters djup? Det är otroligt spännande att kunna följa dessa diskussioner. Experterna är oense men det är vi politiker, icke-experter, som kommer att fatta de avgörande besluten om slutförvaret. Vi måste obehövtligen få de bästa svaren på våra frågor.

Detta är en övning på två dagar som är uppdelad i två delar. Först har vi ett seminarium som är mer expertbetonat där vi ska gå igenom frågor så djupt vi bara kan - det händer idag och under förmiddagen i morgon. I morgon kväll så kommer vi att ha Göran Skytte med oss. Göran kommer att leda en utfrågning av dem som medverkat och vi kan se den delen som en sammanfattning av seminariet. Under de här dagarna ska vi samla på oss frågeställningar och göra dem så skärpta och spetsiga som vi bara kan så vi får ut så mycket som möjligt av utfrågningen.

Av en händelse så vill jag avsluta med att när jag slog på radion vid lunch idag, så hörde jag ett ordspråk som jag tycker vi kan ta med oss under de här två dagarna och det lyder som följer: *"Det sägs många kloka saker på skämt men det är ingenting jämfört med de dumheter som sägs på allvar"*. Det var ett anonymt ordspråk så vi får väl ta till oss hur vi vill. Med dessa ord önskar jag er hjärtligt välkomna till Oskarshamn, Oskarshamns kommun och trevliga, intressanta och lärorika dagar.

## ***Kjell Andersson, Säkerhetsgruppen, Oskarshamn kommun***

Tack Peter för den här inledningen! Jag heter Kjell Andersson och jobbar som konsult och expert till LKO- projektet här i Oskarshamn. Vill bara säga några ord om bakgrunden till detta seminarium och dess upplägg.

Jordskalv i slutförvaret är ju rubriken. Det är faktiskt ingen ny fråga, jag råkade vara inlånad till departementet när det två sista reaktorerna skulle tas i drift, Oskarshamn III och Forsmark III. Då fanns det något som hette KBS-3-rapporten och vi skulle ta fram en remissbild, alltså en beslutspromemoria för det beslutet. Det var kopplat till säkerheten för slutförvaringen och vi tittade på remissbilden och där fanns bland annat Stockholms Universitet. Jag tänker mig att det fanns en Nils-Axel Mörner bakom det som var skrivet, där det stod att det efter en istid i Sverige skulle det kunna bli kraftiga jordbävningar som skulle kunna skada ett slutförvar.

Säkerhetsanalysen sa oss att skador på några kapslar skulle slutförvaret tåla. Mycket har hänt under denna 20-års period och vi har fått ett antal FUD program från SKB som har granskats av myndigheterna och regeringen och det har ju hänt väldigt mycket forskningsmässigt som vi får höra om idag. Frågan finns dock kvar - det finns några frågor som har tendens att leva kvar med tiden. Det senaste som har hänt är att SSIs initiativ till en expertbedömning har ordentligt tagit hand om frågan – Kan det bli kraftiga jordbävningar i samband med en istid?

Den frågan räcker egentligen inte för oss som tittar på helheten utan vi vill veta vad det blir för konsekvenser - i första hand vad det blir det för konsekvenser i berget, förskjutningar i berget. I så fall, vad skulle det kunna bli för konsekvenser för kapseln och för säkerheten i slutförvaret? Till sist måste vi, liksom vi gjorde 1984, koppla det hela till säkerhetsanalysen, och där har ju SSI ett risk - kriterium som har med sannolikheter och konsekvenser att göra.

Det är därför vi har den struktur som vi har på detta seminarium: 1) Kan det bli kraftiga jordbävningar, 2) om det blir det, vad skulle kunna bli konsekvensen och 3) hur tas det om hand i säkerhetsanalysen?

Sedan är vi nog inte nöjda med det heller därför till slut, som Peter sa, är ju det här en fråga som till sist avgörs politiskt i någon av de här kommunerna men också av regeringen. Och då handlar det om beslutsunderlaget, de sakfrågor som finns där och hur de är behandlade naturligtvis men till slut måste en värdering göras. Inte bara en expertbedömning av sakunderlaget utan faktiskt också en politisk värdering och då kommer ju frågan in vilken betydelse ska vi lägga vid vad som kan hända efter en istid. - Är det inte viktigare att studera vad som händer det närmaste 1000 eller 100 åren? Det är ju också en fråga som måste diskuteras, som kanske kommer upp i morgon kväll. För att vidga perspektivet är det ändå så att det är ett beslut som ska tas om ett slutförvar med KBS-3 metoden eller inte och då behöver det också diskuteras vilka alternativ som finns och de alternativen behöver ju då också utsättas för kommande istider i sina scenarier.

Vi har en första avdelning där vi försöker gå på djupet med de tekniskt vetenskapliga frågorna så mycket vi kan och sedan ska vi försöka samla upp de frågorna med Görans Skyttes hjälp i morgon kväll: Då blir det kanske lite skarpare frågor och förhoppningsvis också svar.

Jag tänkte avsluta här och introducera Virpi Lindfors som vår moderator här idag, och projektledare för kärnavfallsprojektet i Östhammars kommun. Sedan har vi också haft en arbetsgrupp som har förberett det här seminariet, de övriga, förutom jag och Virpi, är Åke Nilsson här från Oskarshamn och Bertil Alm från Östhammar och det kommer att gå till så,

inledningsvis när vi har frågestunder, att vi börjar med frågor från arbetsgruppen som har förberett sig ordentligt för det här och sedan öppnar vi naturligtvis för frågor från er alla också.

## Kan det bli kraftiga jordbävningar i samband med en istid?

**Moderatorer: Virpi Lindfors (Östhammar) och Kjell Andersson (Oskarshamn)**

Virpi börjar med att bjuda in Mikael Jensen från SSI, som är myndighetsexpert inom området slutförvar. Det är han som har hållit i projektet om expertbedömningar som handlar just om jordskalv.

Varsågod Mikael.

### *Mikael Jensen, SSI - Expertbedömningsprojektet*

Tack så mycket! Jag höll ett seminarium på Arlanda som täckte ungefär det jag ska säga men då hade jag fem timmar på mig då – nu har jag en halvtimme. Då kan vi antingen ta 150 bilder eller en mindre version som jag har i reserv.

Filosofen Thomas Kuhn, som uppfann begreppet paradigm, sa att förr i tiden så var vetenskapen normgivande, den gav svaren, du kan inte betvivla vetenskapen. Men sedan efter andra världskriget, under senare delen av förra seklet, så har vi fått det som kallas ”postnormal science”. Det är en situation där vetenskapsmännen har fakta som är osäkra, principer som är omdiskuterade och ifrågasatta, insatser som är höga och beslut som brådskar. Det ger anledning att inte få tag i exakta svar men att ändå försöka få bästa underlag. Och det är klart att frågan om växthuseffekten är en sådan fråga, och det finns även många andra, och även slutförvaret har den här karaktären att det inte finns enkla beräkningar som kan ge ett helt klart svar. Det finns en metod som heter formella expertbedömningar, på engelska ”expert panel elicitation”, som innebär att man tar fram kunskap genom att använda en panel av experter.

Jag ska berätta lite grand om metoden vi använt i projektet och vilka resultat som kom fram, och sedan ska jag ta upp riskperspektivet lite kort men det kommer Björn Dverstorp att tala mer om i morgon, i relation till våra föreskrifter.

Man använder som regel formella expertbedömningar när man har väldigt goda skäl att granska och vara väldigt säker på att det är klart vad det är man har gjort. Man förväntar sig en opartisk bedömning, man kanske förväntar sig offentlig granskning och det kanske också blir legala aktioner, särskilt i USA, det är rätt mycket advokater som har drivit fram det här, behovet av att vara säker på vad man gör. Underlaget kan inte bli komplett, men expertbedömning får aldrig ersätta i de fall man kan gå ut och mäta saker och ting, då får man inte låta folk gissa vad det ska vara. Men det är inte alltid man kan få säkra resultat - det finns kanske oenigheter om modeller och datakällor.

Metoden är välkänd i USA och Storbritannien men inte särskilt mycket i kontinentaleuropa och jag vet inte varför. En teori kan vara att politikerna gärna vill kontrollera resultaten här men jag tror snarare att det har att göra med den här legala atmosfären som finns i USA och Storbritannien.

Bedömningar av modeller och resultat genomsyrar allt arbete, frågan är bara om man ska hålla det synligt eller om man ska vara lite slapp med att berätta varför man lägger fram det här på ett visst sätt eller om man rent av döljer det. Den här tekniken strävar mot transparens, alltså genomblickbarhet. Vi gör bedömningar under speciella förutsättningar och jag vill

erinra om att man kan göra det på det sätt som vi har gjort med det är inte det enda sättet. Man kan t ex låta externa granskningsgrupper belysa en fråga.

Utgångspunkten är att man har en fråga som man vill ha svar på. Man har ett brett nomineringsförfarande där "alla" får nominera experter och det ska vara en offentlig procedur. Man säger, bl.a. i USA, att om man får kritik efteråt så är det inte för resultaten utan för nomineringsproceduren - den måste vara extremt klar och öppen. Sedan träffas experterna, diskuterar, arbetar separat med sina bedömningar och de ger sedan svar i form av subjektiva sannolikheter. Jag har med mig 150 bilder om proceduren som vi kan ta fram om det behövs.

Diskussionerna säkerställer att experterna besvarar samma frågor. Många säger att det är fel att låta experterna prata med varandra för de influerar varandra. Problemet är att om man inte låter dem diskutera så svarar de på olika frågor. Det var svårt nog i det här fallet som jag ska komma till om en liten stund.

Jag vill nämna att det finns alternativa metoder där man har en enda expert. I USA har man använt detta i frågan om klimatförändringar och man ville ha fram världens bästa person. Man rankade varandra, meteorologer och experter, och så kom de fram till att den en person var bäst, då intervjuade man honom. Men den metoden har både fördelar och nackdelar. Man kan också tänka sig att experter förhandlar och kommer fram till ett värde. Fördelen är att man uppger gemensam syn. Det finns risker för jäv t.ex. beroende på kundrelationer. Sådan "bias" som det heter, som man måste ta hänsyn till och försöka förhindra så gott det går.

Nu ska jag berätta om vårt projekt. Myndigheterna SSI och SKI administrerade projektet i samråd med en referensgrupp med representanter från myndigheterna, SKB och platsundersökningskommunerna. SKB agerade som observatör inom projektet och ställde sina databaser och referenser till experternas förfogande på förfrågan. Projektet finansierades lika av SSI, SKI och SKB. Ekonomin måste vara klar, vem har fått betalt och hur mycket. Allt detta måste kunna belysas.

Vi hade haft uppe flera olika alternativa frågor för expertbedömningen, som var ett forskningsprojekt, det är inte en del av granskningen. Vi har tidigare haft uppe kärnavfallsfonden, vad händer med den om man inte får ett beslut och den får leva i 200 år till exempel. En annan fråga handlar om Östersjöns framtida strandlinje. Som nämndes så var det från kommunernas sida, frågan om jordskalv. Det fångade vi upp rätt så tidigt att detta var en viktig fråga.

När man ska ställa en fråga om jordskalv vid ett slutförvar måste man ha inte allt för små jordskalv, för de kan inte påverka, men tar man väldigt stora jordskalv, då är de inte intressanta eftersom de händer så sällan. De bör vara större än 6 med den skala, magnitud, som man mäter jordskalvens styrka med. De bör hända inom 10 km från förvaret och det ska vara inom en cykel glaciationscykel som är ungefär 100 000 år.

Fråga 2 gällde konsekvenserna av ett sådant jordskalv, som Kjell Andersson var inne på, men av tidsskäl fick droppa den frågan. Det var inte särskilt bra för det var en sammanvägd kompetensbild man behövde, olika discipliner. Hade man nu bara frågat efter fråga 1 när vi nominerade, då hade vi kanske fått en annan bild.

Ett brev skickades ut till organisationer som visat intresse för det svenska avfallsprogrammet för att de skulle nominera experter och projektgruppen nominerade därför ytterligare experter.



Det var många som inte hade tid och inte kunde, en del som inte ville och ansåg sig inkompetenta på någon av frågorna.

Till slut återstod 16 experter. Vi valde ut fyra geologer till en urvalskommitté med uppdrag att välja ut 5 experter till utfrågningarna. Kommittén bestod av Prof. Jimmy Stigh, Göteborgs universitet, Prof. Roland Roberts, Uppsala Universitet, Prof. Ove Stephansson, KTH i Stockholm and Prof. Giorgio Ranalli, från Carleton University, Canada. De valde ut de här fem experter:

John Adams, NRC, Geological Survey of Canada,  
 Hilmar Bungum, NOR SAR, also affiliated to the University of Oslo  
 James Dieterich, University of California, Riverside  
 Kurt Lambeck, The Australian National University, Canberra,  
 Björn Lund, University of Uppsala

Efter att vi haft en inledande diskussion formulerades frågan så här:

*Anta att glaciationscykel är samma som den förra, Vad är då frekvensen av jordskalv med magnitud 6,0 eller högre mellersta och södra Sverige (Forsmark och Oskarshamn) under en glaciationscykel. Ge också en osäkerhetsfördelning för denna storhet i båda områdena.*

Man skulle anta att 7,6 är ett nominellt värde för ett stort skalv för de ville veta vilka andra skalv som hade förekommit. Detta antagande visade sig vara mer betydelsefullt än vad jag visste om från början, men vi sade 7,6 och det var lite på en höft. Och ingen sa då att det var ett visst skäl, det var bara en referens man hade.

Resultatet blev 0,1 jordskalv per 100 000 år. Spridningen mellan experterna var ovanligt smal för formella utfrågningar. Experterna har alla huvuddelen av sannolikheten mellan 0 och 50 jordskalv per 100 000 år. Då radien gavs som 100 km måste man omräkna till den frågan som ställdes från början, dvs jordskalv inom en 10 km radie med 0,1 jordskalv med magnitud 6 eller högre inom 10 km under 100 000 år.

Jag ska berätta lite om vad vi har lärt oss.

Det är värdefullt att ha ett rimligt stort antal experter, någon kan falla bort. Det var ett omfattande förhandlingsarbete för att få dem att svara på samma fråga och komma överens om förutsättningarna. Det var en tidskrävande process, det kostade mycket, upp mot 1 Mkr och det krävdes omfattande support.

Det var det praktiska. Det var intressant att genomföra det här projektet för experterna ifrågasatte självklara sanningar och de ville inte erbjuda sannolikhetsfördelning på rak arm. En del krävde underlag om islaster så en av deltagarna räknade fram den islast som fanns under förra istiden.

Sedan var det en som tog empiriska data från Mörner och tillsammans var det tre olika typer av approach, de gav ändå så lika resultat, de låg ovanligt tätt samlade för att vara en sån här expert-bedömningsövning. I min åsikt tyder den här likheten att Mörners data passar in så bra att Mörners arbete ska ges stor trovärdighet i framtida bedömningar. Det är också en upptäckt, det tillhör den vetenskapliga metoden att man också berättar om det.

När vi tittar på resultatet får vi inte glömma förutsättningarna; det var den senaste glaciationen, inte en allmän och flera olika glaciationer. Det var en visst antagen magnitud för största skalvet. Jag tror att det kan vara ett referensalternativ som man jämför med. Men det är inte granskat på något håll, det är inget som SKB säger att "så här bör det vara" och vi har INTE sagt att vi har granskat och sagt att det är väldigt bra, utan det är ett intressant alternativ.

Vi fick ett svar med de antaganden som gällde och vi fick också nya insikter om problemformuleringarna. Det återstår att pröva i andra sammanhang bl a i vetenskapssamhället. Den här metoden är användbar, framför allt när man vet att man har ett litet antal frågor, man vet precis vad man vill veta.

Om man säger så här, nu vet jag allting och jag accepterar allting. Det är bara en sak jag är lite orolig för och det är just DEN HÄR frågan, då lämpar sig den här tekniken. Men jag belyser en liten punkt här med laserstrålen och den lyser upp väldigt kraftigt på den punkten där jag riktar den men om försöker öppna den och titta över hela bilden blir det suddigt. Det här är ingen metod för att få en bra bild av säkerhetsanalysen. Det är ungefär som om man tar ett mikroskop och tror att man kan få en bild av hela stån, det kan man inte. Utan den belyser bara en viss liten detalj och den passar bäst i slutskedet av granskningar där alla är överens men det är någon liten sak som man inte riktigt är överens om, då gör man det här.

Vad betyder då frekvensen 0,1 på 100 000 år? Om man har en exponering, en dos av sannolikheten 1, d v s man har varit hos doktorn och fått en röntgenbild, jag VET att blivit bestrålad. Då säger vårt riskkriterium, om det hade gällt slutförvar, att då ska den årliga risken vara mindre än en på millionen. Har man däremot en mera osäker exponering där det kanske bara är en tiondels chans att jag blivit exponerad, då måste man ta hänsyn till både dos och sannolikhet. Då måste man multiplicera dosen med sannolikheten. Som ett tredje fall kan man ta en meteor som kan skada slutförvaret. I detta fall spelar det ingen roll vilken konsekvens det blir överhuvudtaget, därför att sannolikheten i sig själv är tillräckligt låg.

Om det nu vore så att risken är precis 1 på miljonen är det alltså inte så långt ifrån den här brytpunkten där sannolikheten är avgörande. Om det vore en konstant sannolikhet på hela glaciationen, då hade man accepterat dödande doser i stora områden. Det hade ändå inte brutit mot vårt riskkriterium. Sett ur den synvinkeln får man säga att 0,1 är ett lågt värde. Nu är inte sannolikheten konstant över hela glaciationsfasen utan den ändrar sig och är störst i slutet. Dessutom finns ytterligare ett kriterium som säger att, om en händelse har rimligt stor sannolikhet inom 100 000 år, så ska den beskrivas av SKB, det är någonting som man inte kommer ifrån.

Om jag ska summera nu så var det ett intressant jobb. Det gav oss en bra belysning av frågan så även om man inte var intresserad av en siffra i slutet så hade det ändå varit givande och intressant. Vi får kanske återkomma till en del saker, den delen som jag inte har nämnt alls - det som kallas subjektiva sannolikheter. Det kan jag ge ett litet kort exempel på. Om jag har en expert som tror att det ligger i ett visst intervall och en annan expert som tror att det ligger högre upp. Hur ska man där värdera det? Om man tar medelvärden av de båda punkterna och lägger fördelningen i mitten, då får man någonting som ingen av dessa experter ville ha. Men det man ska göra är att ta den kumulativa frekvensen. Osäkerheten sträcker sig över hela det här intervallet.

## ***Björn Lund, Uppsala Universitet***

Björn Lund presenterades. Han har deltagit som expert i expertbedömningsprojektet. Björn är forskare i seismologi vid Uppsala Universitet.

-----

Jag ingick som en del av det här projektet som expert och jag håller på med seismologi och jordbävningar både i Sverige och på Island. Nu har ju Mikael förklarat precis hur det här gick till och dessutom gav han ju resultatet med en gång, så det är lika bra att jag börjar med det. Så som vi definierade frågan i början så talade vi om skalv magnitud 6 eller större inom 100 km radie. Det var så vi arbetade och 100 000 år är en glaciationscykel. Om man räknar om den här radien från 100 km till 10 km för att komma närmare ett ev slutförvar, så får man bara skala den här siffran med faktor 100, det som är skillnaden i ytan. Om ni har sett i rapporten så kom vi fram till att det var i stort sett ingen skillnad om man tittar på Forsmark eller Oskarshamn.

Nu tänkte jag att vi skulle leka försöka komma fram till vad frågan egentligen innebär och hur man går till väga för att svara på frågan. Som Mikael också visade tidigare, så var frågan hur många skalv vi får med magnitud större eller lika med 6 i Forsmark och Oskarshamn under en glaciationscykel på 100 000 år. Vi vet ju inte precis hur nästa istid kommer att ut, men vi antog att den kommer att se ut som den förra.

Den maximala magnituden - hur stor jordbävning kan vi få under en istid? Att vi bestämde oss för 7,6 berodde på att det finns publicerat en liten tabell över de stora förkastningarna i Norrbotten, där har varje förkastning en beräknad magnitud och då hade man använt sig av 7,6 för Pärvi som är den största förkastningen. Sedan är vi nog alla överens om att Pärvi förmodligen var större. Storleksordningen 8 eller 8,2 är det fler som menar.

Hur gick vi då till väga? Jo, om man får en istid då har man en glaciär som byggs upp över hela landet, man får en stor tyngd på jordskorpan och tyngden kommer att göra jordskorpan sammanpressad. Det som är under i manteln är ett ganska mjukt, trögflytande visserligen, material som flyttar sig och strömmar ut åt sidorna. Isen ligger här under lång tid och när den sedan smälter undan så smälter den fortare. Vad vi vet så smälter istiden undan väldigt hastigt. Under några tusen år bara kan vi gå från kilometervis med is till ingenting. Då hinner inte jordskorpan med mantel materialet rinna tillbaka så vi får en böjning som kvarstår trots att isen är borta som sedan rör sig sakta uppåt och det är landhöjningen som vi observerar idag.

Isen samverkar med platttektoniska krafter, alltså krafterna i jordskorpan från plattorna som åker omkring på jordytan. De tillsammans med isen gör att man kan få spänningar som ibland blir så höga att man får jordbävningar. Sedan är vi alla överens om att under vissa förutsättningar när man t ex lägger på en is blir jordskorpan mer stabil och man får färre jordbävningar. Om man tittar på Grönland och Antarktis är det mycket lite jordbävningar under isarna.

Men att gå från den allmänna bilden till att ha en åsikt om hur många jordbävningar av den här storleken man får. Det finns en mängd olika sätt att gå tillväga. Vi var fem stycken i panelen och ingen gjorde på samma sätt utan det är fem olika metoder. Man kan dela upp dem på två olika konceptuella tillvägagångssätt.

Adams från Canada tittade inte mycket på vad isen egentligen orsakade utan han säger att isen stabiliserar jordskorpan, och de jordbävningar vi brukar ha förhindras att ske för det blir mycket mer stabilt. I stället bygger man upp spänningar under isen som inte får släppas loss förrän isen försvinner. Den mängd jordbävningar man ser vid istidens slut skulle inte bero på att isen själv har böjt till jorden och skapat spänningar utan bara på att de storskaliga platttektoniska spänningarna har samlats ihop och släppts ut, alla på en gång.

Ett annat sätt att se på saken är att isen i sig orsakar spänningar, krafter i jordskorpan som samverkar med dem som vi hade i början. Vid olika tidpunkter beroende på hur isen rör sig eller hur spänningarna ser ut så skulle det orsaka jordbävning i sig självt.

Om man säger att det här är två olika sätt att se på saken så har panelen använt sig av två olika tillvägagångssätt för att räkna på det här. Då har Adams och Bungum bara använt de observationer som vi har från jordbävningar, både de idag och det vi vet om paleoseismisitet, alltså hur mycket jordbävningar var det just när isen försvann. Vad vet vi om jordbävningar när isen försvann eller under isen. Det är bara data, sånt som vi har mätt, som använts här.

Dietrich, Lambeck och jag använde modellberäkningar, vi tittar på hur isen egentligen såg ut, hur ser jorden ut och lägger man på en is på jorden, vad händer då på jorden? Vilken sorts spänningar orsakas där nere? Sedan har vi modeller på hur jordbävningar produceras, varför det blir jordbävningar. Det beror på spänningsförhållanden, sprickor, friktionen på sprickor. Allt det här kan man sätta upp modeller för och räkna på. Det är det angreppssättet vi tre har använt oss av.

*Om vi börjar med den första metoden* kan man fråga sig vad behöver vi veta? Jo, dels om det blir jordbävning i samband med en istid och i så fall, hur stora, hur många. Om man inte har någon is från början, vad har man då för sorts aktivitet innan man lägger på isen ifall man anser att isen bara förhindrar den dagliga aktiviteten. Det är ju stor skillnad på hur vi har det här i Sverige jämfört med om man bor i Japan.

Vi ska titta på jordbävningar i Sverige och vi börjar med Pärvi förkastningen, det började redan på 60-talet i Finland. Det är förkastningar, stora sprickor i jordskorpan. Här rörde sig hela den sidan av berget uppåt med ett språng på 10 meter just efter att isen försvunnit. Pärvi förkastningen går längs fjällkedjan och strax väster om Kiruna. Den är drygt 15 mil lång och man har haft 10-15 meter vertikal förskjutning. Ett ohyggligt stort skalv, förmodligen magnitud 8,2.

I Sverige hittade man jordbävningar på 70-80-talet, några i Norge, på senare tid har man hittat ytterligare en i Norge. Nils-Axel Mörner har sett på andra indikationer på skalv. Stora skalv ger upphov till sekundära effekter t ex jordskred eller så får man omtumlande sedimentlagringar. Jag vill inte prata mer om det för Niklas kommer nog att gå igenom det. Det finns en massa andra indikationer på att vi haft jordskalv även i de södra delarna av Sverige, precis vid slutet av istiden och därefter.

Man har också tittat med ekolod i södra Finland i bottensediment och sett spår av förkastningar. Tyvärr kan ingen av metoderna riktigt säga hur stora sprickor eller var jordbävningarna fanns från början. Man vet att det fanns mycket stora jordskalv efter istiden.

På senare år har halvstora och mindre skalv skett det senaste seklet. Det största skalvet som skett under historisk tid, skedde utanför Kosteröarna 1904. Ett skalv på magnitud 5,5-6 och kändes över stora delar av Skandinavien, ända bort till S:t Petersburg.

Några andra ganska stora skalv är; 1976 i Finska viken, 1985 Kattegatt, 1986 Skövde och i Norrtälje var det inte så stort men det var grunt och kändes rejält. Sedan är det nästan inga förrän 2004 i Kaliningrad på magnitud 5. Det visar hur episodisk seismisk aktivitet kan vara. Sedan 1986 har vi inte i Sverige haft magnitud 4 och det är 20 år sedan. Så man måste ha lång observationstid för att få med alla jordbävningar.

Det här är data från Norden 1904 till 2005 och de största, 5 eller större, är med röd prick. Jag har ritat in ringar runt Forsmark och Oskarshamn. Det här är en radie på 100 000 m och det motsvarar det område som vi tittade på i den här studien. Den större ringen är 500 000 m och runt Forsmark är den 650 000 m, bara för att få med Kaliningrad i statistiken. Vi har haft två skalv med magnitud 5 under de senaste 100 åren.

En dagsblick – här är 5,5 års data från det nya seismiska nätet i Uppsala. De stationerna är igång, de lila hoppas vi få igång under våren och de små prickarna är jordbävningar och ingen är större än 3. Seismisk aktivitet är koncentrerad till Norrlandskusten och mycket lite i södra Sverige. Det är värt att notera, vilken oerhörd koncentration av små skalv det är i Pärvi förkastningen. Sen kommer vi till statistik. Hur räknar vi ihop de här skalven för att få en uppskattning om hur många stora skalv vi kan förvänta oss? Då använder man sig av Gutenberg Richter fördelningen, magnituden, antal event/jordbävningar per år och bara 10-logaritmer av det.

Vi tar med större delar av södra Sverige, södra Östersjön och delar av Norge i statistiken. På magnitud 5 ligger vi på 0,01 - ett skalv per 100 år. Det har stor betydelse vilket område man tittar på. På 100 år har det varit mycket skalv i västra Sverige men inte mycket i sydöstra. Man får inte ha för litet område eller för kort tid då blir statistiken för dålig. Här är en magnitud 5, en till två per 100 år, det betyder att vi har en magnitud 6 på 1000 år och en magnitud på 7 på 10 000 år skulle vi förvänta oss i det här området.

Vad Adams gjorde var att använda 5 olika sorters kataloger för att beräkna hur många skalv man skulle få i Sverige under en 100 000-års period. En katalog till är jordbävningar från områden i världen med ungefär samma jordskorpa som vi har i Sverige. Han använde sig av jordbävningar från 1965 och framåt eftersom de har bästa data. Han använde de postglaciala förkastningarna i norra Sverige, ca 10-15 st och de beräknade magnituderna för de skalven. Han använde Mörners katalog för postglaciala skalv fram till för 8000 år sedan, alltså från det att istiden var slut och det som är daterat fram till för 8000 år sedan. Han har använt både Mörners magnituder och skalat om dem till det som vi andra använder från artikeln av Stuart där de säger att det bara var 7,6 och inte 8,2. Till slut har han använt yngre postglaciala skalv och en ismodell.

Lambeck gjorde en beräkning på hur isen såg ut och eftersom Adams ville veta hur det ackumulerades, hur länge det var is här i Oskarshamn och Forsmark, och skalade om värdena och får 12 jordskalv på 100 000 år och på 100 km radie.

Bungum använde liknande sätt men använde bara en katalog och bara de postglaciala förkastningarna uppe i Nordkalotten. Han tycker att 7,6 var för lågt så han använde 8,2, trots

att vi inte skulle göra det. Han skalar om det och kommer fram till ung 10-15 skalv under den här tidsperioden på en viss yta.

*Om vi går till den andra metoden* med modellberäkning krävs det betydligt mer indata. Vi behöver jordbävningar i samband med en istid, det är huvudorsaken, hur aktiviteten ser ut idag. Vi behöver veta hur istäcket samspelar med jordskorpan och vilka spänningar isen ger ner i jorden, vi måste veta hur isen såg ut, hur den rörde sig, hur länge den låg här, hur tjock den var, hur brant den var. Vi bör veta hur jordens inre är beskaffat för att kunna räkna ut hur jorden reagerar på isen och vi måste veta hur en jordbävning blir till. Nu börjar det bli mycket att hålla rätt på.

Då börjar vi med isen. Den senaste istiden sträckte sig från ca 110 000 bp (= before present, alltså från idag och bakåt). Ung 100 000 år hade vi is över delar av Skandinavien. Det pågår idag mycket klimatforskning, inte för att man vill veta hur det var med istiden, snarare för man vill veta om det ska bli varmare. Man har undersökt klimatdata/temperaturdata från iskärran på Grönland och Alaska. Det pekar mot att temperaturvariationerna verkar stämma, det vi vet om inlandsisarna är att de växer till på ung samma sätt, gång efter annan. Man har visat att vår svenska is som täcker stora delar av Skandinavien, när den är som störst, i regel börjar långt uppe i Sibirien. Man har kanske ganska varmt klimat och det finns de som hävdar att den varma perioden vi har nu är utomordentlig för att få en ny istid. Vi för upp en massa varm, fuktig luft till Sibirien, det snöar där, det smälter inte på sommaren utan det ackumuleras och isen drar sig väster- och söderut över Skandinavien. Det bästa vi kan göra, eftersom vi inte vet exakt hur nästa istid ser ut, är att anta att den kommer att se ut som de förra istiden.

Ismodeller kan man göra på två sätt, geologisk eller geodynamisk ismodell. Man använder sig av en massa geologiska indikatorer som strandlinje, ändmoräner, sidmoräner som talar om var isen låg. Man daterar dem för att visa *när* den låg där, man använder relativa havsnivåer som man kan mäta geologiskt runt om i hela världen. Fina mätplatser finns på Bahamas för att använda som referenspunkt för att veta hur havsytan har rört sig. Man har mätt instrumentellt i Sverige ända sedan 1800-talet, kanske ändå längre i Stockholm. Man behöver en modell av jordens inre struktur. Man kan göra på ett helt annat sätt och gå från kunskap om att jag vet hur en glaciär betar sig, om det blir kallt när det snöar, hur den växer, hur den flödar. Alltså glaciärdynamik, då behövs klimatdata, bottenförhållanden under glaciären, måste veta vilken typografi, hur berg och dalar ser ut där glaciären kan glida fram. Man måste veta om jordens värmefflöde, hur mycket värme tillför man underifrån, kommer glaciären att smälta underifrån eller är det kallt på undersidan? Också en modell av jordens struktur.

Vi har två olika sätt att närma oss isarna. Här har vi den geologiska geodynamiska modellen som Lambeck publicerade 1998 och här en klimatdatamodell från Jens-Ove Näslund och andra, för något år sedan.

Det här är från när isen var som störst, för ungefär 20 000 år sedan. Utbredd från norra Tyskland bort över Kolahalvön upp över Barents hav, väldigt brant. Med en maximal höjd på 1600 m, brant upp mot Atlanten, sluttar försiktigt bort mot Ryssland.

Den här klimatdatamodellen är drygt 1 km tjockare på tjockaste stället. Det ser annorlunda ut, här har isen brett ut sig över Brittiska öarna. Ungefär samma linjer runt om, det är väl bestämt av ändmoräner, alltså avlagringar som isen lämnade efter sig. Höjden kan variera, hur isen rörde sig varierar.

De blå linjerna är klimatmodellen från Näslund, den röda en nyare modell som Lambeck utvecklat under de senaste åren och den är betydligt tjockare. I Oskarshamn var det bra kallt i början av istiden, förmodligen väldigt kallt. Det var ingen is förrän kanske 70-80 000 år sedan. Isens tjocklek är mycket olika i de här två modellerna.

Jordbävningar är rörelser på sprickplan och när man får stora spänningar i jorden kan inte berget stå emot utan den rör sig på sprickor som redan finns. Det kan röra sig åt olika håll. I Pärvi och Lansjärv åkte det ena blocket upp över det andra. För det mesta i Sverige rör de sig in och ut, det beror på hur spänningarna är riktade i jorden.

Lambeck utvecklar modeller för inlandsisen. Han beräknar vilka spänningar isen ger nere i berget, tittar på hur stabila sprickorna är. Så skalar jag om det här och försöker tillämpa det på den yta som vi pratar om, 100 km, och får ett värde på hur sannolikt det är att det skulle bli ett stort skalv under den tiden. Men Lambeck gick inte hela vägen och fyllde inte i en siffra i det här utan det gjordes senare en tolkning av hans resultat.

Jag gjorde på liknande sätt, använde spänningarna för att beräkna stabiliteten med olika värden på vad vi hade i början i Sverige. Det har väldigt stor betydelse. Sedan använde jag mig av jordbävningar idag och de stora skalven för att beräkna Gutenberg Richterkurvor och utifrån dem ta ut hur många magnitud 6 eller större man får för olika scenarier.

Dietrich var mer avancerad och använde sig av en modell som inriktar sig på tidsvariationer i spänningar och hur det relaterar till storleken. Ju större, hastigare variation man får i spänningen desto större skalv får man. Och då tittade han på ismodeller när vi har hastiga variationer i spänningsförändringarna. Så beräknade han utifrån det, och med hjälp av största skalvet, hur många skalv man får i Sverige och per yta, på de här 100 000 åren.

Som avslutning vill jag säga att det varit mycket tal om maximal magnitud, att vi kanske antagit för låg maximalmagnitud. Om man antar att det var 8,2 för Pärvi så har vi tittat på de andra experterna och det är det jag har gjort, så de är inte ansvariga för det här. Adams första tre modeller ändras inte, däremot med de beräkningar han gjort med Mörners data, ökar antalet skalv per 100 km och per 100 000 med en faktor 2,5.

Bungum använde 8,2 så den beräkningen behöver man inte bekymra sig om. Dietrich beräkningar visar att det skulle minska antalet skalv med en faktor 8 men för mig ökar det med en faktor 4. Det är ingen homogen bild. Det mest fascinerande är att, trots att vi använt så olika sätt, så blir ändå resultaten samstämmiga. Alla fem blev förvånade.

### ***Nils Axel Mörner***

NilsAxel Mörner, (paleogeofysik och geodynamik) presenterades. Han kommer att tala om paleoseismisitet.

-----

Det finsk/svenska programmet och KBS-3 metoden bygger på att vi har väldigt litenseismisitet, att vi har ett säkerhetsavstånd och att väldigt lite händer under 100 000 år. Är dessa tre förutsättningar fel får vi göra något annat. I min grupp har vi gjort ett stort

basmaterial, vi har en stor, tjock bok där hela materialet finns framlagt och där var och en kan se i färg. Det har rönt mycket stort intresse utomlands. Vi har 3 doktorsavhandlingar, vi har 31 sakgranskande internationella arbeten och en massa annat. Vi har haft många experter hos oss och haft en stor exkursion där vi har vädrat alla saker som jag nu kommer att tala om. Därför drar vi slutsatsen att isavsmältningsskedet var förknippat med mycket, mycket hög seismisk aktivitet som är en helt annan typ än den vi har idag. Det gäller hela Sverige.

Landhöjningen är väldigt stor, 800 m i centrum och här nere 250 m, det betyder att när isen avsmälte så höjde sig landet med en sån hastighet att det var 1,4 mm/dygn i centrum, 0,4 i Stockholm och 0,3 här nere. Det är en stor hastighet per dygn och då vore det ju inte underligt om det blev hög seismisitet. Det är andra drivande krafter än den man har nu. Vi har funnit 54 jordbävningar och det är inte bara ett kriterium utan ett batteri av olika saker vi går på. Antalet är väldigt många, här uppe omkring 9-11 000, det är också här landhöjningen är som starkast och att det finns ett sådant samband är ganska självklart.

Sen har vi en liten plutt här som är lite större. Så händer det något med landhöjningen, där har vi lite mer. Det är de områden vi arbetar med. Vi har 13 jordbävningar, de följer en ganska linjär struktur, det finns lineament. Vi har Mälardalen där vi har 14 jordbävningar – först kollosalt snabba sedan har de mer eller mindre lagt sig på en linje. T ex Hudiksvall där vi har 7, det är mer paraboliskt försvinner det och i Forsmark har vi 5. Här inne har vi 2 hittills och uppe i Umeå så kommer Pärvi och Lansjärv, .

Här uppe ser man lineament, man ser förkastningar bara för att där är allt blottat, inga kläder på. Här i söder finns kläder på, och vad är kläderna? Jo, skog och sediment, för allt har varit under havsytan så det ligger tjocka sedimentpackar där det är mycket svårt att se själva förkastningen. Man går på andra signaler och de ska jag tala om. Vi ser dock stora strukturer, vi har Mälardalsförkastningen, en stor gammal förkastning och det finns flera här i söder också. Här är den väldigt stor och det går ända bort till Värmland och Säffle och till Billingen.

Vad vi tittar på är något som heter liquid fraction, det är alltså "bli flytande". Om man skakar sediment så blir de flytande och de flytande strukturerna känner vi mycket lätt igen, om man kan det. Det finns ett förhållande mellan området liquid fraction och magnituden i jordbävningar. Det är precis lika bra för att magnitudbeskriva som det är med förkastningsmaterial, bara det att man måste vara säker på att man är på en och samma. Och det är då tur att vi har den varviga leran där vi kan särskilja på det här. Så magnitud och frekvens, vi har en katalog där vi har 54 jordbävningar, här har vi tiden, området och platsen i en bok. Det är några kolossala jordbävningar. Jag ska ta några exempel. Jag fördelar dem så här. Katalogens 54 jordbävningar, det är alltså 1000 års perioder. Magnitud 5 eller 6 kan jag knappast se, för de här liquid fraction börjar ungefär vid 5,5. Jag ser då de större, inte de mindre jordbävningarna i den tekniken, men jag går ju långt bak i tiden. Det är intressant att även här i den yngre tiden har vi flera förvånansvärt stora. Vi kan också titta på en som är jättestor, jag kommer tillbaka till den.

En här i frekvensdiagrammet hur de är fördelade i tid och landhöjning, någonting kopplar ihop dem. Det är fullständigt självklart. I Norrland har man tittat på jordbävningar där man ser förkastningarna och så har vi talat om 7,6 men det är 8,2 som är mycket mer riktigt. Så säger man att Pärvi är maximala skalvet, det är inte alls säkert, och jag ska försöka visa er det här skalvet som absolut är över 8 och kan vara mycket större. Vi har en serie unga jordbävningar också som vi lagt här för att det är senare, 5000 år, och här har jag var de är och de har påverkat vissa namn, Dunholm. Marvikarna, Hjälmarens och Pärvi.



Jag har gjort det här för länge sedan, man tog det som SKB använde förut. De hade instrumentdata och försökte projicera över en 100-års period och då fick man 1 skalv på magnitud 7 på 100 000 år. Om jag lägger in mina data får jag 100 till 1000 skalv på 7:an, 10 skalv på en 8:a och kanske några skalv på upp till 9.

Ser man till vad Adams gjorde så utgick han från instrumentdata och när han kom till höga magnituder så funkar det inte med instrumentdata och man får då de här paleodata. Det är två olika serier. Om man tar en 7,5 och flyttar den till 8,2 blir det ett ännu större gap mellan de här två serierna. För det är två olika processer som driver dem, tror jag.

Liquid fraction, tänk lite på gamla tiders tjälskott, fast jättelika. Sedimentdeformationer, bergsskred, jordskred, tsunamihändelser - vi har hittat 16 tsunamis här-, fysiska data, turbiditer (det är stora skred som gått på havets botten). Och där plötsligt ligger det i leran ett grovt sandlager och man vet att det har transporterats längs botten och det kallas turbidit, man kallar det annars seismiter.

Kol-14 dateringar kan man ta tsunamihändelser i sjöar t ex jordskred o s v. Om vi har en strandlinje och ser att det ramlar ner block då kan vi ju datera det. Lika gäller tsunamivågor, slår det in kan vi datera dem på samma sätt.

Så kommer det svåra, magnituder, då gör man det på längd och höjd på primära förkastningar. Det är det som används i Norrland och så ytutbredningen på liquid fraction. Det är en precis lika bra metod men den är inte känd. Det är en vetenskap för sig.

Ytutbredning av bergssprickor talade jag om. Höjden på tsunamivågor, 10-20 m vågor har vi haft här i Sverige. Förekomst av turbiditer, rörelser av separata block, ytutbredningar, sedimentdeformationer, de är väldigt likt liquid fraction. Och så familjen, inte bara en av dem, utan hela familjen. Man ska ha förkastningar, liquid fraction, deformationer av sedimenten, turbiditer som rasar över det. Då först är man säker på det och då ska det kunna dateras.

Så har vi det som hände på hösten för 10 430 år sedan. En hög magnitud, förkastning, och längden på linjen går ut mot Finska viken, likfaktion har vi över det här området, sprickbildningar. En stor hög tsunamivåg som spolade hela Närkesundet rent och på ETT år, alltså ögonblickligen, blev hela Östersjön salt. Så har vi en magnetisk signal i sedimentet som är hela det här gula. Det är ett ofantligt område som har blivit påverkat och det är fullständigt självklart att det är en superjordbävning. Det finns inget som säger att den ska vara mindre än Pärvi.

Nu tar vi lite om liquid fraction, vad det är. Vi ska titta på tre lokaler alldeles bredvid varann. Det var på hösten 10 430 det var en jättejordbävning, en förkastning som spräckte berget och liquid fraction över detta kolossala område, så skapades en tsunami som spolade rent.

På den här bilden försöker en liquid fraction gå igenom den grå leran och här har den blåst bort den grå leran. Där är den varviga leran som den har blåst igenom, den är grå och svart och vid sidan ligger allt i en enda röra. Det är precis det varvet som är 10 430, det året då Östersjön blev salt. Går vi in i den här svackan ser vi att deformationen är det första varvet som fyllde sprickan. Det var vinter år 10 430, därför vet vi att det blev lugnt på vintern och därför vet vi att det här hände på hösten.

Så går vi till Stockholm som är 70 km åt sidan från den här lokalen, då har vi en borrhärd och här har vi varven. Det är så vi arbetar och det är så vi kan vara säkra på att vi är på precis samma liquid fraction händelse.

Så tar vi turbuditen, ett tjockt lager som rusade på botten. Här har vi Muskö och Ornö. Där har vi 274 varv och där har vi 321 normala varv och plötsligt så kommer det här jättevarvet. Precis samma år som vi såg i de andra lokalerna, det var då det hände och det är så vi daterade. sedan kommer bergspräckningar, det är 8 m förkastning, jättetjussigt här borta vid Mariefred. Bergspartiet har åkt upp här, det är förkastningar vi ser, isen kom från den sidan. Hela det partiet har åkt upp ungefär en halv meter. Största rörelsen är inte nedåt, gravitationsmässigt, utan det hoppar ut.

De fem händelserna i Stockholm är ganska fantastiskt, vi ser epicentrum här, nästa gång är epicentrum i Mariefredsområdet, bak till Stockholmsområdet. sedan händer det här jättelika där vi har liquid fraction över det här otroligt stora område och magnet-deformation i hela det gula området.

Sedan kommer 10 450, 20 år senare, det visste vi inte. Nu har vi hittat en jättegrypp nyligen i Mariefredsområdet och så kommer Säffle där vi är osäkra på 10 år. Säffle är intressant, här är turbuditen 10 430 sedan 20 år senare deformerades det. Det är en jättedeformation, det här är 2,3 km. Det här gjorde von Post 1915 och jag hittade tillbaks till lokalen. Där ligger den gamla turbuditen och sedan har den deformerats. Det är så vi arbetar.

Nu hoppar vi upp till Hudiksvall, där finns något som hände 9 663 alltså också ett årsvarv. Här är epicenter, här har berget spruckit över ett jätteområde, mer än 1 dm, här har vi liquid fraction. Och så har vi en turbuditen som går 320 km ända ner till Uppsala. Vi har ett berg som heter Bodagrotterna, hur det såg ut innan istiden och nu ser det ut på det här sättet. Fullkomligt söndersmulat. Så här ser bergytan ut och det intressant är att isen kom från det här hållet och det här blocket har hoppat rakt mot isrörelsen. Den har inte bara hoppat upp över den, den har också hoppat mot gravitationen.

Det här är 12,5 km från epicenter så då tror vi att det var en jordbävning att den har "klickat" något som heter metanis. Metanis kan finnas där det finns hålrum och när den utsätts för tryck eller temperaturförändringar, "puff" så går den över i gas. Det finns ingen vätskefas emellan. Och det hoppet gör då en explosiv utlösning, därför tror vi att mycket av det här är en kombination av seismicitet och metanexplosion.

Här var det två händelser, 9 818, då vet vi att material härifrån gick ända ner till Stockholm. Det blev en fläckzon i den varviga leran och 9 663 var jordbävningen här uppe och då hade vi sand ända ner till Uppsala.

Detta är fantastiska händelser och med Hedeby ser vi hur berget har spräckt kolossala liquid fraction. Seismologiska Förbundet har 3 495 grottor på det här sättet och vi tror att de flesta är en kombination mellan jordbävningar och explosiv metanavgång.

Här är något intressant som hände för 2000 år sedan. En kulle, stora block, men när vi tittar under kullen så ser vi rundat stenmaterial. Det är en strand, den stranden måste vara yngre än 3 200 år. Då började vi leta i torvmossarna här och då såg vi en kolossal tsunamivåg.

Så talade vi om familjen av händelser, t ex hur berget fallit, det skakar så det ramlar ner. Vi har liquid fraction i botten, det blir flytande och vill gå igenom. Så har vi tsunami och turboditen, den varviga leran av 118 varv och när vi kommer upp här händer det något.

Någonting skär av hela händelsen, det blir ett sandigt, grusigt lager med grus i botten. Det blir lugnare, det hinner sätta sig.

Det var en grusgrop som man trodde hade avsmält vid det här året 460, det är ett namn som gamle de Geer använder. Så går vi in i toppen och ser 33 + 36 deformerade varv. Då är vi exakt på året inne på den ekvationen. Och vad är det då som händer i Högskövska(?). Då är vi också tillbaka till 9 663. Vi har liquid fraction i fem faser, här simmar stora stenblock i sedimentet för det uppför sig som en tung vätska. Det har aldrig visats förr att man har faser av liquid fraction, en jordbävning är inte EN händelse, utan nästan alltid skalv och efterskalv. Det kommer som en familj och sedan kommer det då en lera ovanför som inte har störts.

På en annan lokal i närheten ser vi ungefär samma sak - en sand som har varit flytande och därför har hela det här sjunkit ner i den, sedan har den försökt komma upp, bryta sig igenom, det är fas 1. Sedan har vi den här som går upp är fas 2, den bryter av här. Fas 3 bryter av den, där kommer kanske fas 4 och t o m har vi en 5:a här. Det är flera faser, det är något helt nytt. Så detaljerat måste man arbeta när man sedan får ihop ytutbredningen så kan man tala om magnitud.

Allt det där var 9 663 och då gör vi ett hopp till 6 100, för till vår enorma förvåning har vi gruset här och leran ovanför. Nu ser vi att gruset har gått upp i den varviga leran, spridit sig utmed sprickplanen i den varviga leran. Om vi tittar ännu mer noggrant ser vi att gruset gått igenom och sedan tog bottenströmmarna i det här lagret. Här ser vi nu grus och lerbollar. Och det lagret kan vi föra ut till stranden ung 6 100 (nu är vi i Hudiksvall). I lokalerna runt omkring hade vi också en tsunamivåg på 20 m. En sån här har bara iakttagits en gång tidigare och det var i Alaska. Skakningarna, det är skakad sand, skakad och varvig lera. Så här ska inte varvig lera se ut.

Det är intressant eftersom skakningar går i paleomagnetism så är det extra stark magnetism för kornen har fått en andra chans att skakas. Vi har då jordmagnetiska fältet som påverkar de små magnetiska partiklarna mellan kornen. Strömmarna i vattnet påverkar de stora kornen, inte de små.

Den lokal jag visade tidigare, hösten 10430, som var så otroligt påverkad av liquid fraction, nu går vi hit till denna lokal, mindre bara 6-700 m ifrån. Här ligger varven mer eller mindre i organisation, det finns några små sprickor men i princip ligger det som det ska. Då säger man - Aha, här finns ingen deformation men då tittar vi in i det magnetiska, det som kallas AMS, de stora partiklarna. De ligger på plats och är inte deformerade och mycket riktigt så får vi svaret här. De ligger ungefär som vattnet strömmat ut.

Men så kommer vi till magnetpartiklarna. Här är jordens magnetfält, vid den här tiden, här. Sedan har det roterat 120 grader, en kolossal rotation. Det ser vi i de här sedimenten och här är gränsen. Sedan går vi upp till Umeå där man har en svampbildning, här har liquid fraction gått igenom och sedan inte kommit igen utan spridit sig lateralt. Då jämför vi de magnetiska signalerna med de lagren som inte har påverkats. Här ligger magnetfältet precis som det ska i det här horisontella, det som inte har störts. Så går vi in i det här som skulle vara kaotiskt men det är så gott som samma signal. Varför?

Jo, det är beviset för att det här har varit flytande, vi kan alltså bevisa de här flytande egenskaperna! Tack för det!

## **Frågestund**

### **Virpi**

Vi tar oss friheten att låta arbetsgruppen börja med frågorna. Vi lämnar över ordet till Åke Nilsson och Bertil Alm.

### **Åke Nilsson**

Att det blir jordskalv verkar man vara överens om. Frågan är omfattningen av jordskalven. Vi har hört expertgruppen som gjorde en avgränsning till den senaste glaciationstiden. Vi vet att under tidigare glaciationer har det varit större jordskalv. Varför har man koncentrerat sig till den senaste glaciationstiden?

### **Mikael**

För oss spelade det inte så stor roll. För mig var det intressant att ha en väldefinierad frågeställning. Först hade vi frågan om nästa glaciation då sa vi att vi får massor av frågor om hur den skulle kunna se ut. Låt oss slippa de frågorna och låt oss anta att den ser ut exakt som den förra glaciationen. Vi vill alltså ha ett antal väl definierade förhållanden som experterna ska yttra sig om. Annars vet man inte vad skillnaden beror på. Om man låter det flumma ut för mycket får man ingen bra styr på resultaten vad de egentligen står för. Metoden är bäst för att belysa ett väldigt litet område, det är mera ett mikroskåp än en kikare. Gamla skalv är vi inte intresserade av utan vi är intresserade av de som kommer, de närmaste 100 000 åren.

### **Fråga**

Jag tror frågan är mer riktad mot Björn. Utifrån den istiden vi hade före den senaste istiden, är vi väl överens om att den var kraftigare och hur skulle det kunna påverka era resultat om man vägt in det?

### **Björns svar**

Vi har svårt nog att enas om hur den senaste istiden såg ut. Den förra har vi än så länge ganska dålig uppfattning om, exakt hur stor, hur lång och var isen fanns. Den senaste istiden är den vi känner bäst till. Inför nästa istid kan vi inte anta annat än att den förmodligen ser ut som den förra. Är det kanske rimligt att räkna med *en* istid. Vill man ha två får man bara dubbla resultaten än så länge.

### **Fråga**

Björn, kan du utveckla hur många större jordbävningar med magnitud större än 6 det kan bli och hur ni har resonerat i er grupp. Hur många jordbävningar med magnitud 7, 8, och 9 skulle kunna förväntas av hur ni har beräknat det hela?

### **Svar**

Då får man bara gå på de vanligast förekommande mellan stora och små skalv. Om man antar att kurvorna lutar med faktor 1, det är vad man brukar utfå ifrån, så har man 10 gånger så många 6:or som 7:or, så har vi en 6:a så har vi 0,1 på 7 och 0,01 på 8 eller vice versa kan vi konstatera att vi har en 8:a så bör vi haft 10 st 7:or och 100 st 6:or.

**Nils Axel:**

Det är ju under förutsättning att man tror på ett något så när linjärt förlopp. Då kan man arbeta med statistik på det sättet men är det ett cykliskt förlopp och man måste ha hela cykeln. För mig var det så att vi hade mycket hög seismisitet som var driven av landhöjningen för 10 000 år sedan. Idag är det mer komplicerat, en annan seismisitet därför är det två kurvor som inte går att dra ihop. Vi talar om två olika processer.

**Fråga:**

Det troliga är att det var två olika scenarier. Vid istidens slut var förhållandena i jordskorpan inte såna som de är idag, det är uppenbart. Men förhållandet mellan stora och små jordbävningar påverkas inte av det. Man vet att det här förhållandet mellan stora och små skalv, lutningen kan variera lite men det är nivån på hela aktiviteten som förändras.

**Nils Axels kommentar:**

Det är inte meningsfullt att ta väldigt små skalv och skälet är att de inte gör så mycket skada. Å andra sidan, har vi bara höga skalv blir de så osannolika och då är de inte så intressanta ur strålskyddssynpunkt, det är ungefär som att få en meteorit i huvudet, det kan hända men har låg sannolikhet.

**Fråga från Kjell:**

Vad är skillnaden i bedömningen av sannolikheten för att det kan bli stora jordbävningar i samband mellan en istid, låt oss säga, mellan expertpanelen och Mörner? En medlem i expertpanelen använder ju Mörners data och man kom fram till ungefär samma resultat. Fråga till Mörner i första hand; Är dina data använda på ett korrekt sätt och vad är det då som skiljer er åt?

**Nils Axel:**

Det som skiljer oss åt är att Adams kalibrerar ner det så att det ska vara max 7,6. Det tror jag inte man ska göra i dagens läge. Vad rädde forskaren gör är att han tar minsta, 7,6 eller mer, men vid sannolikhetskalkyler ska vi ta maximum. För vi är intresserade av det värsta som kan hända. Jag har gjort mina bästa bevekningar som många var förvånade av att det var så höga magnituder och genom att titta på liquid fraction gjort bedömningar, diskuterat med kollegor. Adams verifierade det på sitt sätt att det ligger helt i linje med deras beräkningar .

**Kjell**

Men Björn, hade du inte räknat om antagandet från 7,6 till 8, var det inte just Adams det? Blev det samma resultat?

**Björn**

Adams räknade med båda och jag är inte helt säker på hur mycket det skiljde sig. Vi andra har ju räknat om våra med 8,2 också och jag får mer. Dietrich får mindre. Jag håller med Nils-Axel om att det är mycket som pekar på att Pärviskalvet var över 8 och kanske även 8,2 och det måste man ju använda då om man ska göra en riktig riskbedömning. Det här projektet, sa man från början, de här resultaten är en del i en metodutvärdering och ska inte ligga till grund för några sannolikhetsberäkningar för förvaret. Det var vi alla överens om, att skulle vi göra det verkligen så behöver man mer tid. Vi hade 5 dagar på oss att göra ett arbete som inte är gjort tidigare.

**Kjell**

Nils Axel, om du skulle svara på samma fråga som expertpanelen gjorde vad skulle det då bli?

**Nils Axel**

Jag visade min gula och blå box, den har varit ute och vädrats under 10 år. Det var inte intressant då men nu börjar man inse att det kanske inte var så dumt. Gör jag det så gör jag en grov linje genom min gula box och får då i stället för en 7:a, 100 till 1000 7:or över hela landet och ett 10-tal på 8 och ända upp till 9. Javisst, det är svaret men i det la jag också den reservationen, det här materialet som jag har accepterat och när det kommer i min katalog ska jag se på det med många kriterier. Jag har ett underskott i jordbävningar vilket Adams i sin analys också sa. Det syns att ju mindre magnituder det är desto mera är missade. Så ge mig några år till och vi kickar upp det från 54 till 300 som ingenting.

**Kjell**

Siffran som Mikael visade, 0,1 skalv per 100 000 år?

**Nils Axel**

Jag har inte skalat ner det till region.

**Kjell**

Du kan alltså inte rakt upp och ner säga din uppskattning?

**Nils Axel**

Ett intressant svar ska jag ge i alla fall. Lambeck som är teoretiker gör en klar distinktion mellan Forsmark och Oskarshamn. I Forsmark är det mindre än i Oskarshamn. Om jag tittar på formdata är det väldigt mycket mera skalv i Forsmarks regionen.

**Kommentar från Björn**

Frågan om högsta skalvet har vi diskuterat mycket men det visar omedelbart att man får motfrågor. Mitt allmänna intryck av Mörners data är att det står sig väl och ligger bra till bland världens främsta experter. De ligger väldigt nära medelvärden.

**Ulla Westerlind från Östhammar**

Jag har hört Mörners förklaring om Bodagrottorna jag skulle också vilja höra Björn Lundh, vad han tycker, om det är jordskalv och hur det har uppkommit osv?

Det är inte alls mitt område. Jag kan nästan ingenting om kvartärgeologi så det har jag ingen uppfattning om.

**Fråga från Leif Hägg**

Det jag är intresserad av är 500 m ner i marken. Det som rör sig uppe på är en sak. Vad händer i ett slutförvar? Kommer det att hända något i de tektoniska linserna som vi nu använder oss av att lägga slutförvaret? (frågan sparades till kvällen)

**Fråga från Bo Malm, kommunstyrelsen i Oskarshamn**

Jag har två rapporter framför mig, den heter "Granskning av Nils-Axel Mörners arbete avseende postglaciala strukturer på Äspö", utgiven av SKB 1990. Vid en summering kan jag läsa att man är starkt kritisk, man har gjort en exkursion på Äspö, gått igenom de lokaler som

Mörner hänvisar till. Mörner har visserligen massmedia i sin ficka men har SKB emot sig. Detta faktum kan inte bestridas men rättfärdigar inte heller direkta felaktigheter i bevisföring och slutsatser. Jag har också slutrapporten från förstudien där samma argumentering framkommer att inget av det här har härletts och förts i bevis.

Nu är ju rubriken på detta seminarium ”Jordskalv i slutförvar av kärnavfall”. Man måste ju då av det vi hört idag, dra slutsatsen att Mörners teorier har fått större aktualitet och auktoritet. Så min fråga lyder; vad får det för konsekvenser på det slutförvar som vi talar om?

### **Nils Axel**

Vi talar ju helst om var vi står idag, inte var olika personer stod för 25 år sedan. Då kunde SKB säga att varenda spricka i Sveriges berggrund är äldre än 1,6 miljarder år gamla. Det är inte rätt. 1998 sa man att det var allmän hållen teori att det inte funnits stora skalv i södra Sverige. Allt det är passerat nu. Man kan inte generalisera. Personligen tycker jag inte att man ska lägga avfall i ett slutet bergrum och gå därifrån utan lägga det i ett tillgängligt torrt bergrum där man kan kontrollera det.

### **Fråga Charlie Hultén**

När du säger, Mikael, att det inte är fråga om en sannolikhet, jag har antecknat att du sa, att sannolikheten är så liten att vi kan bortse från eventuella konsekvenser även om de är katastrofala. Så nog är det fråga om sannolikhet!

### **Mikael**

Låt mig förklara mig. Vi frågade om frekvenser i projektet men våra föreskrifter talar om risk eller sannolikhet. Mot den bakgrunden måste man göra en sannolikhetsbedömning. OM det vore en konstant sannolikhet då skulle man kunna dra vissa slutsatser för att visa hur vi sedan kommer att bedöma frågan. Ta det inte som en granskning av SKBs arbete, det är en ren forskningsverksamhet.

### **Åke Nilsson**

Ett litet klarläggande – vi pratar hela tiden om 0,1 skalv på en 10 km radie under den här 100 000 års perioden. Om jag får ställa frågan rakt till Björn, om vi nu skulle öka skalvet från 7,6 till 8,2 måste vi räkna upp det med faktor 4. Stämmer det? I så fall skulle det vara 0,4 skalv i stället för 0,1. Är det korrekt?

### **Björn**

Ja, för mitt arbete men inte för Dietrich. Om vi inte ska prata sannolikheter så har vi i alla fall ökat det med faktor 4. Nu har vi arbetat med en grupp och då ska vi inte ta EN person. Värdet med en grupp är att man har en spridning och ser hur det ligger. Fastnar man för EN person får man kanske en konstlad säkerhet.

### **Åke**

Kan vi få en kommentar från Mörner om vi ska skala upp eller ner?

### **Nils Axel**

Om man är forskare tar man ofta det lägsta, det ligger i en forskares blod. När det gäller en säkerhetsanalys måste man ta det värsta. Går det fel så går det fel för att man gör en underskattning.

**Anders Andersson från Östhammar, Föreningen Energi för Östhammar.**

Det gäller de många små jordbävningarna och några stora jordbävningar längs hela svenska ostkusten. Vi i Östhammar har bara ca 10 mil över till finska Olkiluoto där man har börjat spränga för slutförvaret. Har man undersökt berggrunden på finska sidan. Har hört att det är lugnt med skalv där. Hur är läget?

**Nils Axel**

Två finska geologer har arbetat på båda sidorna om halvön och fått fram material om unga jordbävningar. Där har man sett liquid fraction och förkastningar. Lite konstigt tycker jag det är att de inte sagt ett enda ord om vad de har kommit fram till, när frågan var uppe. Utan man satt tyst, och jag vet varför. Hade man gått upp och sagt att det är på det sättet hade anslaget dragits in. Man har tigit ihjäl något som finns där. Vad det sedan har för betydelse för förvaret ska vi diskutera i kväll.

**Björn**

Det vi har sett de senaste 100-150 åren är att den seismiska aktiviteten i Finland är mycket låg. I dagsläget är det ingen tvekan att i det här området är aktiviteten mycket låg.

**Torsten Carlsson**

Jag vill ha ett klarläggande av Mörner vad som menas med jättelika och kolossala jordbävningar i relation till Richterskalan? Och Mikael - kan du nämna något om konsekvenserna av det som kommit från expertgruppen när det gäller risk för människor från ett slutförvar som planeras av SKB?

**Nils Axel**

Jag har en katalog där allt specificerat är mina bästa bedömningar. Jättelika är de som är runt 8, även 7 är en jättejordbävning.

**Mikael**

Jag visar NASAs bild på en meteor, där problemet är att en liten meteor kommer ofta. Så det är svårt att göra som Mörner, ta de största, för det finns hur stora som helst. Har man tillräckligt små frekvenser kommer man till att det visserligen skulle kunna komma ett stort jordskalv. Även om det förstör hela förvaret så gör det inget ur vår och SSIs myndighetssynvinkel, om den är tillräckligt osannolikt.

**Monika Johansson,** Hur långt fram ligger nästa istid? Om det är 100 000 år är det 4 000 generationer har man grovt räknat med. När kommer det om man, som Nils-Axel nämnde, behöver ta tillbaka materialet för att utnyttja energin mera. Jag kan hålla med om att vi bör kunna komma åt det här. Det har betydelse då när istiden kommer och hur långt fram vi ska räkna.

**Svar**

Vi får en liten glaciation om 5000 år, nästa om 23 000 år och en väldigt stor om 70 000 år.

**Fråga**

Vad kan den globala uppvärmningen betyda? Det kanske inte blir någon istid eller det kanske inte spelar någon roll?

**Svar**



Lambeck säger att den kan öka chansen för istiden för att den skapar det fria vattnet som lägger sig över. Nedisningen kommer österifrån och det kan öka förloppet.

**Kurt-Olov Karlsson är med i Folkkampanjen mot kärnkraft i Oskarshamn;**

Det var jordskalv i Halland under tiden man undersökte det här med avfallet där. I samband med skalvet beslutade myndigheten i Halland att man inte ville ha något med avfallsfrågor att göra. Varför gjorde dom det? Var det därför att de anser att Halland var en sådan lokal man kunde riskera ytterligare skalv?

**Nils Axel**

Det hände i mitten av 80-talet. Ett skalv på 4,2 i Kattegatt. Det gick 9 månader, en normal graviditetsperiod, så smällde det igen med 3,9 och då sa man inget. sedan gick det 6 månader och en till kom på 4,2. Det här var rakt emot all statistik. 1991 kom ett till vid Varberg och den kunde knytas till lineamenten bredvid Ringhals och statistiken funkade inte. Tror att det var därför man sa nej.

Min minnesbild var att det hängde ihop med SKBs studier på 90-talet och att man funderade i Halmstad, att låta SKB göra en förstudie och det hade psykologisk effekt och kommunfullmäktige beslöt hastigt och lustigt att säga nej.

## Vad händer med berget?

### Virpi Lindfors

Under detta pass har vi ingen separat frågestund utan frågorna ställs efter varje talare. Vi börjar med Nils-Axel Mörner

### *Paleoseismisitet, Nils Axel Mörner*

Berget spricker över stora ytor och ibland till stora djup. Förkastningsrörelser sker längs existerande svaghetszoner och längs nybildade spricklinjer. Metanisexplosioner övergår explosivt i metangas. Det här måste in, det finns inte med ännu och vi har 3 490 urbergsgrottor som kan vara vittnesbörd om en samprodukt mellan jordbävningar och metanisexplosion.

Respect distance, tycker jag är tomt prat. Från ett remissutlåtande, geologisk oförsämndhet, vidlyftig desinformation, tyvärr. Att lägga avfall 50 till 100 m från en stor förkastningslinje eller svaghetszon, det funkar inte. Vi måste till 20 km och var får vi då för plats att hitta ett avfallsförvar? Här ute är det mycket aktivt och i högsta grad utanför Forsmark. Vi talade om liquid fraction, sprickbildningen är 200 x 50 km, en jättestor utbredning och det stämmer inte alls med 1 km och 1 dm som man matar in i sina data. Det är stora grejor som rör sig på ytan, en förkastning på 8 m, en nybildad sidoförkastning till den stora svaghetszonen. Vi har flera exempel och vi har Rumarös seismograf. Ett berg som är korsat med rutmönster, det har kastats ut en massa block.

Deformationen i berget är ung 50x50 km. Här har vi 49 lokaler, bara de som vi tittat på, det finns ännu fler, där vi har bergsgrottor, sprickor förkastningar och här ligger iskanten vid den här tidpunkten. Det här är uppsprickning av bergets ytor, då har det spruckit upp långt, långt ifrån. Vi kommer nu till Bodagrottorna. Så här ser berget ut här och så här ser fronten ut, en väldigt stark isrörelse rakt emot, så hade isen gått över hade den deformerat det. Nu gjorde den inte det.

Det finns annan deformation vid samma skede, bergbitar har blivit uppresta. När bergbitarna flög upp sög de in sediment och sedimenten är gammal moränmaterial. Det finns inget fossil i det. Bergsblocket har inte bara brutits loss det har roterat också, till det behövs kolossala krafter. Det här är en ö, man kan gå ner 6 m under vattenytan i grottsystemet. Det ligger under vatten och vi har liquid fraction som vi kopplar ihop det med och det är verkligen en jordbävning. Vi har ytan på Boda som ser ut som ytan smält, från början lekte vi med möjligheten att epicentrum var här, men det gick vi snabbt ifrån.

Det finns ett djupt grottsystem där man ser sprickriktningar och det är inte en tillfällighet. Det har spruckit efter ett visst mönster.

Vi har gjort fyra djupborrningar, då kommer det mycket vatten men vi förlorar också luft, det släpper för att luften sticker iväg. Det är 2 600 m långa grottsystem, hela ytan har vissa centra där sprickningen har utgått från flera centra. Ur det har det fötts en teori att det inte bara är jordbävningar utan jordbävningar med tryckvågen påverkade metanisen så den gick i gas och det blev gasexplosion. Metanisen hålls i is- eller gasfas p g a tryck och temperatur.

Så kommer det finska materialet som är otroligt intressant. Det har hävdats av de som vill lägga ner avfall i berget att urbergsplintar verkar som egna separata block, omgivna av svaghetszoner. I det här fallet har vi en förkastning, magnituden är enligt finnarna är bara 6,1, 10 m lång och 3 m hög. Den skär rakt in, rakt emot all rim och reson i vad man sagt och hävdats om sockerbitar. Här har finnarna en nybildad struktur och det är rakt emot vad som hävdats. Detta är verkligheten och den kan vi inte ta bort.

Vi har ett exempel från Grekland, en gammal förkastning, och då säger vi här att vi har respect distance, vi kan lägga det 50 till 100 m. Så kom nästa jordbävning förskjutningen kastningen som då var 1 m blev upp till 2 m. Jordbävningar följer inte alltid en linje, ibland sticker de åt sidan. Det finns inga respect distance enligt min åsikt. Jag tittar på ytan men man kan tvingas svara för djupet också. Jag tar bara ett exempel, Laxemarborrningen, Man tog inte ut konkretionen, det var jag som gjorde. Man säger att nya sprickor bara är på ytan, aldrig längre ner än 120 m och vattnet går aldrig ner mer än till ytan, inte till djupet.

I det här fallet har vi sprickzon 1 som är på det djupet och sprickzon 2 som är under 1 550 m. Två stora sprickzoner, ytvattnet går minst ner till gräns 1 på 930 m. Gräns 2 tycks tränga ända ner, det betyder att dessa varit aktiva i postglacial tid.

Så kommer diagrammet; hur mycket de kan förskjutas och vilken distans från epicentrum? Här är det 1 km från epicentrum och vi ser jordbävningar på 8,2, 8 och 7,5. Respect distance är vi utanför. Jaha, då säger jag, det är modellering, och sedan kommer observationsdata. Det är kilometervis utanför den observationsdatan, det är modellvärlden.

### **Fråga**

Vad gäller sprickzoner så är frågan om sprickor kan gå in i plinten. Exemplet från Finland pekar på att det skulle kunna göra det. Var i Finland är det taget och vad finns mer att berätta om det?

### **Nils Axel**

Vi har den finska rapporten som är välskriven. Det finns många bra exempel. Det är inte alls bara en förkastningslinje utan den delar ofta upp sig som en blomma. Den som jag visade var så kul för att just allt det man säger om sockerbitar, där kan vi lägga det, plintar kan vi lägga det i. Man kan titta på gravitationsdata, berget är omgivet av starka svaghetszoner, rakt emot vad man hävdats.

### **Peter Wikberg, SKB**

Jag heter Peter Wikberg och jobbar med platsundersökningar här i Oskarshamn. Var berget spricker eller inte spricker har jag inte så mycket synpunkter på, det finns fysikaliska lagar som styr även sånt. Vad jag vill kommentera är den här vattenkemin i Laxemar. Vi har ytterligare 10 borrhål inom Laxemarområdet som visar samma bild som det borrhål du tog upp. Vad vi ser i vattenkemin, framför allt, i de undersökningar vi gör är att vi kan väl korrelera dem till de händelser som hänt sedan senaste istiden. Framför allt handlar det om att under den tiden var området täckt av hav, saltvatten, vi fick ett inslag av havsvatten som gick ganska långt ner i berggrunden. Det hände i de öppna sprickor där vattnet rör sig men faktum är att de sprickorna har funnits där mycket länge. Det är inga nya sprickor som leder vattnet utan det är gamla sprickor. En del har slutits, andra har kanske öppnats. Vi har en väldigt god bild av de hydrauliska egenskaperna som vi mäter i berget och vattensammansättningen, som

vi ser det. Vi behöver inte korrelera det mot eventuella rörelser för att få den bilden att gå ihop.

**Nils Axel**

Det intressanta är att de varit så aktiva efter istiden till skillnad mot de äldre spricksystem som har kittat igen, de saknar mineraliseringar. Samma system som det här måste ju vara knutet till de nya sprickorna som t ex i det finska fallet, de går ju ner 3 km tror jag.

**Peter Wikberg**

Metanisbildningen, det krävs ju vissa temperatur- och tryckförhållanden för att det ska bildas. Hur ser den processen ut?

**Nils Axel**

Ganska väl känd från haven - man har gjort mycket i Amerika och det finns gradienter på både trycket och temperaturen. Temperaturen lättar efter istiden, då kan det ge sig iväg, och när vattenytan i havet sjunker under istiden blir det mindre tryck och då har det gett sig iväg. Var som helst i ett berg där det sipprar metangas och det finns hålrum eller sprickor så har det möjlighet att ackumuleras.

**Kjell**

Vissa av grottorna, finska sprickan, är slående att se. Varje grotta har ju begränsad geografisk utsträckning. Om man vänder på resonemanget och tänker sig ett slutförvar på en specifik plats, om det är här i Oskarshamn eller Östhammar, så måste det ju vara en begränsad sannolikhet för att det händer just där. Att sätta in det i något sorts säkerhetsanalytiskt sammanhang. För hela berget ser ju inte ut så här, det är ju bara vissa bestämda platser. Hur ser du på det?

**Nils Axel**

Det är många fler platser. Det är bara några få som vi undersökt. Är ungefär 100 st grottor som kan kopplas in i de här systemen.

**Kjell**

Det här skulle alltså spräcka hela KBS3-metoden? Då måste det ändå in i någon sannolikhetsbedömning någon sorts säkerhetsanalys att det händer på just det stället!

**Nils Axel**

När det gäller jordbävningar har de en viss form av organisation även om de sedan har minne eller inte minne från stress i berget. Det är ju det otäcka med metanisavgångarna att det är svårt att inordna det i ett slag mönster. Det var faktiskt Wood som gjorde en analys och sa att det här är ett känt kapitel och måste utredas.

**Kjell**

Måste det ändå inte vara en låg sannolikhet för att det händer på en viss plats?

**Nils Axel**

Nej, det tror jag inte. Det kan man analysera, det har gått ganska fort sedan jag gjorde min bok. Vi kanske ska ta bort några ur databanken som inte har med det att göra. Det finns ras med iden och det har jag aldrig gillat att ta med i det här. För ras kan alltid ske. Det är bara några enstaka fall när rasen sker spontant, då åker de in.

**Kjell**

Hur stora är de här 3 000 grottsystemen?

**Nils Axel**

Från att vara 2 600 m gångsystem i Boda som är den största till att bara vara små grottor som man kan krypa in i.

**Kjell**

Totalt sett är det en liten volym om man ska jämföra berg som är förstörts på detta sätt.

**Nils Axel**

Jag skulle gärna göra en genomgång. Vi har databasen, ge mig en uppgift så kan vi gå igenom och se om man kan bena upp det. Det är jättelätt eftersom det finns där.

**Öivind Toverud**

Vi har sett mycket av sprucket berg och jag vill fråga om Bodagrottorna. Hur djupt ner är grottgångarna belägna från ytan?

**Nils Axel**

Det var en snäll fråga! Grottgångarna som man krypa ner i är 10-15 m, 20 på sin höjd. Borringarna där man tappade luft och fick otroligt mycket vatten ner till 100 m

**Öivind**

Jag tänkte ställa en fråga med anledning av de borrhål som är salta. Kan man observera några förkastningsförlopp överhuvudtaget i de borrhålen?

**Nils Axel**

Nej (lågt) Beror det på att det är så homogent berg så det inte finns några strukturer som man kan känna igen och som har rört sig i vertikalled eller varför kan man inte se något borrhål som tyder på att det skulle kunna vara rörelser även på de djupen. I och för sig är det bara ner till 100 meters djup.

Det finns en hel del sprickor som vi sett med radar och på TV, någon som är öppen 1 dm, men det är ju ett spricksystem, det är inget förkastningssystem vi gått igenom. Det här är inget epicentrum men när man ser det är det många som tror det. Till vår stora förvåning fick vi rörelsen utifrån havet och det fick vi för att vi såg att det sandmaterial som kommit in över lerytan. Polerade lerytan. I stället för att komma från Boda så kom det utifrån havet.

**Öivind**

Så här var det bara ett spricksystem och inga förkastningsförlopp. Den finska förkastningen sa du var ung. Finns det några försök att åldersdatera den förkastningen eller vad baseras på att den är ung?

**Nils Axel**

Det finns lite dateringar på dem i Finland och Lappland. Hela det materialet är 12 jordbävningar. Det är mest strukturer som man ser väl. Inte täckt av sediment och lite skog det är positivt. Det negativa är att man inte är säker på om det en eller flera rörelser och ofta är det väldigt svårt att datera. Man kan bara säga att det är efter istiden.

**Ny fråga**

Hur kan du säga att den typen av rörelse vid kontinentalplattan, t ex Grekland, bevisar samma sak här uppe hos oss?

**Nils Axel**

Ett gott exempel som är vanligt när det gäller sprickzoner och förkastningar, var man är på jorden, är att de inte alls repeterar ett gammalt mönster. De följer ett mönster och sedan böjer de av, ofta med en signifikant 45 graders vinkel. Ses också i vårt svenska spricksystem i berget.

**Fråga**

Den typen av förkastning förstår jag men det här beror på förkastningar p g a nedtryckning och sedan upplyftning av isen. Ingen sidförskjutning. Nere i Grekland beror förkastningar på sidförskjutning. Det är två olika typer, man kan inte dra några slutsatser.

**Svar**

Du behöver inte göra det men jag gör det. Det har repeterats och repeterats om igen så att alla nya rörelser följer gamla sprickzoner. Förkastningen i Mälardalen är främst driven av en gammal svaghetszon som är från permisk tid. Men från den så divergerar det av nybildade sprickor. Det är min kunskap och det är den vanligaste kunskapen bland paleoseismologer att det är på det sättet.

**Fråga**

Berget rör sig mindre ju djupare ner man kommer vid ett skalv. Delar du den uppfattningen?

**Svar**

Ja och nej, nej när det gäller förskjutningsförloppet längs förkastningslinjen. Den är inte bara en, den kan sprida sig uppåt och bli som en blombukett. Det andra svaret är själva skakrörelsen, skakningen är naturligtvis mindre neråt i berget än på ytan. Bara på två meter kan man se hur vridningen har ökat uppåt för skakningen är större. Intensiteten ja och förskjutningen nej.

***Raymond Munier, SKB***

**Virpi Lindfors**

Vi har nu en ny talare, Raymond Munier, han kommer från SKB och är doktor i strukturgeologi.

**Raymond Munier**

Jag tänkte berätta vad som händer i berg. Först en exposé om varför vi har jordskalv. Vi har skalv i Sverige och andra platser företrädesvis p g a platttektoniken som Alfred Wegener kom på en gång.

Vi har både stora och små plattor och där Sverige befinner sig är plattorna väldigt små. Det fungerar ungefär så här - schematiskt rör sig plattorna mot varandra. I de här gränzonerna, där Kalifornien utgör en, har vi stor koncentration av förkastningar.

Vi har en situation som motsvarar Japan och den här som motsvarar Hawaii. Det hela drivs av konvektion, rotation av den viskösa trögflytande manteln som både drar de styvare plattorna

men också av att plattans tyngd drar ner. Så småningom smälter plattan och det kommer upp nya vulkaner. På så sätt skapar vi kontinuerligt nya kontinenter.

Här har vi jordskalv och det är farbror Richter som sitter i sitt vardagsrum och ser på sin hembyggda seismograf. Jordskalv sker företrädesvis längs plattgränserna. Jordskalv koncentreras i kanten av kontinenterna. Det finaste nätverket i världen finns i Sverige, som drivs av Uppsala Universitet och som mäter väldigt små skalv. Idén bekom det är att små skalv förekommer mycket oftare än stora skalv och då kan man samla på sig mer information och förstå processerna och SKB är naturligtvis lika angelägna som Nils-Axel och många andra att förstå de processer som ligger bakom skalv.

Den här är en lite annorlunda version än Björns men det är samma princip. Att isen lastar på en skorpa och den viskösa manteln flyttar sig för att ge plats. Skorpan böjer ner, isen smälter snabbare än den byggs på och den viskösa manteln vill återfå sin form och vi har då landhöjning. Vi har stor landhöjning i ränderna och det är i de här områdena man skulle kunna få seismisk instabilitet medan man under isen har seismisk stabilitet, vilket ju visas av bristen på jordskalv under Antarktis.

För den klimatiskt intresserade vill jag göra en prognos om framtiden, huruvida det blir varmare eller kallare än idag kan kanske vara en akademisk fråga. Säkerligen ”pushar” människan på processen, jag har ingen invändning mot det, men vi ska ha klart för oss att det har varit betydligt varmare och kallare tidigare.

Melankowich cyklerna som Niklas berättade om syns mycket tydligt här. Det finns en periodicitet, vi förväntar oss en istid, vi vet ungefär när och ungefär varför. Landhöjningen ser ut ungefär så här, vi har i den här trakten ungefär 2,5 mm landhöjning per år. Vi har precis slutfört en intressant studie för att mäta om det finns relativa höjdskillnader på ömse sidor om sådana här deformationszoner. Detta visar Forsmark och detta Biotestsjön och studien som är pinfärsk visar på att det inte finns relativa landhöjningsskillnader tvärs över de här zonerna, vilket betyder att hela området höjs samtidigt.

Vi vet att vi haft stora skalv och med stora skalv avser jag magnitud 7 och större. Vi har Pärsvikförkastningen, otroligt imponerande, lika imponerande men inte lika lätt att hitta var Lansjärvförkastningen, Till skillnad från vad Mörner ofta säger är det ju så att Lansjärvförkastningen grävdes fram och finansierades helt och hållet av SKB. Och många andra studier som rör postglaciala förkastningar inklusive Mörners har ju också finansierats av SKB. Vi har inte sopat något under mattan - tvärtom vi har velat vända på alla stenar för att verkligen förstå de här processerna.

En postglacial förkastning med magnitud 6 eller 7. Vi har Bodagrottorna som nu förklaras med metanisexplosioner och vi har andra exempel från andra ställen i världen där vi vet att ingen av de processerna har fungerat utan det är permafrostrelaterade processer.

För metanis krävs det metan och då undrar jag var metanen kommer ifrån? Det finns, vad jag känner till, inga olje- eller gasfyndigheter i Bodatrakterna och mängden sediment som rimligtvis kan ackumuleras under en istid. Alltså organiska sediment som skulle kunna bli metan är ju inte tillräckliga för att skapa de mängder metanis som kan ge så kraftiga metanisexplosioner att det spränger hela berg i luften. Jag tycker inte det är rimligt men det finns säkert experter som kan ge förklaring till det. Jag vill ha en fysikalisk förklaring, hur man får metanen och hur den fysiskt kan spränga berg. Den förklaringen har jag inte fått.

Låt oss se på stora skalv och vilka konsekvenser det har. Vi har anledning att återkomma till Tanchuang som också Niklas berörde. Det var nog ett av de värsta skalven som någonsin hänt. 300 000 döda är nog en grov underskattning av den regim som fanns då. Vid ungefär lika stora skalv kan det bli olika effekter, dels beroende på hur mycket folk som bor där och dels på hur man bygger hus, var man bygger och hur man betar sig. Vilken beredskap man har inför skalv.

Ungefär så här fungerar ett skalv;

Vi har en zon och den är gammal. Det förekommer relativa rörelser och det hela sker ganska mjukt och smidigt ända tills friktionen blir så stor att rörelserna hindras.

När spänningarna överstiger hållfastheten spricker berget och vi får en momentan rörelse som vi kallar skalv och sedan har vi ett permanent tillstånd. Precis så såg det ut i Kalifornien en gång i tiden på 70-talet.

När skalvet sker så propagerar det vågor genom berget som när de närmar sig ytan byter karaktär och blir något helt annat. Vi måste då skilja på vad som händer där nere och vad som händer här uppe.

Det finns vågor av två typer, bodywaves, som sker i solida kroppar och de sker även i vätska och något som heter surfacewaves som sker mellan två olika material som t ex berg och luft, dvs markytan. P-vågen är en kompressionsvåg, materialet komprimeras och expanderas och det går som en våg i hela materialet. S-vågen är en skjuvvåg och den betar sig precis som om man skulle skaka till ett snöre och har en våg som går igenom materialet. Railwave betar sig ung likadant och det här kanske är den mest intressanta. Notera skillnaden mellan rörelserna som sker i de lägre liggande delarna än och i de övre liggande delarna. Det här är den vanligaste bilden av jordskalv, fullständig förödelse, elände, fruktansvärda effekter för människor och djur.

Sediment kan fånga seismiska vågor så de förstärks. Depressioner är variation i topografin kan fungera som en lins, så de kan koncentrera seismiska vågor. Hastigheten i materialet bestämmer vilken frekvens som vågorna har. När de kommer in i ett långsammare material så reagerar energin genom att svänga kraftigare.

Några exempel;

Kobe i Japan, epicentrum här, efterskalven här, lägger sig snyggt utefter förkastningslinjen. Notera nogsamt siffrorna som ger oss antal gravitation, ett primitivt mått men ändå etablerat. Ett G är alltså anger hur stor skakning som finns på markytan på olika avstånd från epicentrum

Även om det här stället är längre bort från så har det mycket högre G än det här och det beror på lokala förhållanden. Om man inte vet de lokala förhållandena då förstår man inte heller vilket G det är! Det är G;na som orsakar liquid fraction, även vattenhalten i sedimenten, ungefär vilken magnitud det var och många andra parametrar måste man ha klart för sig. Vi är fortfarande på markytan. Det här är ett gammalt skalv, på skalvet har det här byggts ett museum. Hade vi haft lika mycket pengar som japanerna så hade vi nog gjort samma sak med Lansjärv för våra egna förkastningar är lika fina som de japanska men mycket äldre.

Det fina med en sån här site är att man kan gå till förkastningen, studera berget i förkastningen bredvid och en bit ifrån och dra slutsatser, hur gammal den är, hur ofta den har



rört sig, vilken mineralogi den har. Vi har en väldigt bra kunskap om hur sprickor och förkastningar fungerar.

Och då till pudelns kärna:

I Japan bor ett par hundra miljoner människor som ska transporteras i ungefär 200 mil järnvägstunnel, så det borde finnas dokumenterade effekter på jordskalv i dessa tunnlar och då kan vi ta del av dem. Vi gjorde en rapport för några år sedan. Mycket var på japanska så vi intervjuade japanska SJ som inte gör internationella publikationer om de här sakerna.

Ett av ställena är i Taiwan, magnitud 7,3, och en skjuvförkastning, den värsta sortens förkastning som finns för byggnader och annat på markytan. Ett stort antal tunnlar, enheten är gall, det är 1000 gånger större än G så det här är 0,9 G och 0,008 G om man ser hur markaccelerationen varierar på olika avstånd från förkastningarna.

Det här är en animation på hur det kan se ut. Den här har samma geometri och är bra för att visualisera händelseförloppet. Vi har en förkastning som rör sig och vi har en effekt på markytan som är ganska dramatisk. Observera att det är 3000 gånger förstoring på den här simuleringen. Niklas gillar inte datasimuleringar men jag är lite yngre så jag har anammat den nya tekniken.

Det här är en vattentunnel från ett tunnelkraftverk. Vi har 20 meter jordtäckning fortfarande löst material, fortfarande nära markytan. Tunnelns andra del ligger här nere, den har skjuvats ungefär 4-4,5 m. Den skjuvades till en början längs den zon som faktiskt fanns och tunnlar här inne är intakta. Skadan på tunneln är koncentrerad till just där zonen skär tunneln. Det är en oerhörd skillnad i intensitet för ett och samma skalv på ytan jämfört med djupet och här är ungefär vårt försvarsdjup.

Slutsatsen blir så här;

Skadorna är relaterade till huruvida tunnlar är tomma eller fyllda. En fylld tunnel har absolut inga skador. Vi har avståndet till källan, kanske riktningen till källan, och accelerationen som jag nämnt tidigare. De skador som dokumenterats i tunnlar är främst att linningen spricker och det gäller då betongtunnlar. Skadorna sker vid tunnelmynningen och det gäller även Tanchang, det var 4000 gruvarbetare, två bröt benet, ingen dog och i staden ovanpå dog ½ miljon människor av skalvet och bränder och annat elände som dök upp. Installationer, rör och ledningar skadas i tunnlar vid jordskalv.

Respektavstånden – vad betyder det – jo vi föreställer oss en zon schematiskt. Vi har ett skalv, de flesta skalv kan kopplas till en befintlig struktur till en gammal zon. Vi har haft otroligt många skalv längs en och samma deformationszon, och den är mycket gammal. De flesta går att datera. Det här skalvet kan p g a att det byter stressförhållandena i berget, skapa ett efterskalv. Den gör att en annan spricka som är instängt plötsligt kan röra sig.

Då är frågan om den kan röra sig och om vi har en kapsel där, kan den skada kapseln?

Vi har beräknat att kapseln tål åtminstone 10 cm. Då undrar vi, hur långt ifrån skalvet är rörelserna så små att de inte överstiger 10 cm? Det är vad vi kallar respektavstånd.

Vi hade för lite data att gå på, därför måste vi simulera och det gör vi på det här viset. Vi har en förkastning i datorn där vi genererar skalv av olika magnitud, varierar avståndet till det tänkta förvaret, med sprickor av olika storlekar. För varje skalv och avstånd som vi

genererar så vet vi vilken rörelse vi har på sprickorna och baserat på den här typen av simuleringar av olika material som vi leker med, får vi fram samband mellan skalv, avstånd och målspricka. Tillsammans bygger de upp begreppet respektavstånd.

Tanken är då att vi ska beräkna hur stor sannolikhet en spricka kan ha att skära en kapsel så mycket att den överstiger 10 cm som för närvarande är kapselbrottskriteriet.

Tillämpningen för Äspöområdet ser då ut så här med ett antal deformationszoner, samtliga är mycket gamla. De flesta kan dateras men absoluta åldrar på senaste reaktiveringar är mycket svåra att bestämma. Kapslar kommer inte att nyttjas inom respektområdet för att säkerställa att om det sker något där ska, trots att det sker, kapseln som inte skärs av för stora sprickor, inte kunna skadas.

### **Virpi**

10 min för frågor;

### **Arbetsgruppen**

Vi vill ju titta på fakta och se hur det ser ut och om vi håller oss till Sverige då. Vi har pratat mycket om Pärnviförkastningen och så har vi ju Sveriges största gruva LKAB. Det känns som om det skulle vara livsfarligt att befinna sig i gruvan om det bildas sprickor hela tiden?

### **Raymond**

Gruvor är en mycket speciell miljö. Som jämförelse, i Sydafrika mäter man 8 miljoner skalv i gruvor varje år. I LKAB har man problem med det snabba uttaget och med skalv och rörelser på markytan. Människor klagar, hus spricker och folk måste flytta därifrån. Det är klart att det sker skalv i gruvor men det beror på hur djupt ner du är, hur snabbt du tar dig ut, vilka spänningsförhållanden som finns, och det kan man faktiskt kontrollera.

### **Fråga**

Föreställer ni er att en gruva eller tunnel behåller sin integritet efter en istid?

### **Raymond**

Det korta svaret är ja, det långa svaret beror på vad du menar med integritet. Ett kapselhål behåller sin mekaniska integritet över en glaciationscykel om vi tillämpar principen med respektavstånd till deformationszonen som kan hysa skalv och om vi också förbjuder användning av deponeringshål som hyser allt för stora sprickor.

### **Fråga**

Är det så att det inte finns några som helst data på förskjutningar djupt nere i berget, t ex i gruvor, eller att man borrar igenom någon förkastningszon, mer eller mindre aktiv på mer än några 100 meters djup?

### **Raymond**

Nej, det är inte det jag påstår, utan jag sa att i vår studie hade vi svårt att finna data som kunde styrka hur långt ifrån ett känt skalv med en känd zon vi har en deformation längs ett annat sprickplan som överskrider ett visst mått som stöd för de simuleringar vi sedan gjorde. Därför att de skador som har redovisats har inte varit av den arten att vi kan härleda den informationen. De flesta tunnlar är lineade och man kan inte se deformationen och det är det som föranlett att vi satsat så hårt på datorsimuleringar för att få fram den här typen av samband.

**Fråga**

Jag tycker inte jag fick svar på frågan, finns det några data och i så fall vilka belopp?

**Raymond**

Ja det finns det. Du kan studera skalv i t ex gruvor men problemet med dem är att de är inducerade och det är ett annat system. Med de skalven får man faktiskt fram hur stor rörelse som sker. Det finns data men vi har inte använt dem eftersom vi inte tyckte det var relevant.

***Ragnar Slunga, FoI*****Virpi**

Nästa talare och den sista för dagen är Ragnar Slunga, han är laborator vid totalförsvarets forskningsinstitut och har varit adjungerad professor vid Uppsala Universitet, deformationer och jordskalv mm

**Ragnar Slunga**

Jag har inte arbetat med det här problemet men blev ombedd att komma med några tankar som jag tror kan vara relevanta för säkerheten vad gäller närområdet till ett antaget stort jordskalv. Vad vet vi om efterskalv? Det andra är hur sprickstorlek och förskjutningar på en spricka beror på de spänningar som arbetar i sprickan. När det gäller efterskalv så är de spänningar som arbetar sådana som finns där innan det stora skalvet kommer, alltså de spänningar som vi hela tiden har i berget.

Det finns lite tumregler för vad vi vet om efterskalv. Har vi magnituden 6,5 så får vi ungefär 18x18 kvadratkilometer där vi får efterskalv. Magnus Bååth var en känd professor i seismologi vid Uppsala Universitet. Han har gett en tumregel för att efterskalvet är 1,2 magnituder mindre än huvudskalvet.

Om vi har en cirkulär sprickyta med en sprickzon med en radie då finns det enkla samband mellan sprickradie, den spänning som arbetar vid rörelsen och hur stor förskjutningen blir. Har man 100 m sprickradie som här då kan man ha olika spänningar för olika förskjutningar. Hur stora spänningar har man då på 500 m djup?

Jamesson och Kock är de viktiga namnen här. De analyserar spänningstillståndet i berget. Vi har inte stora observationer i stor utsträckning här. Om man har ett begränsat antal sprickor så kan skjuvspänningarna bli hur stora som helst, det är då bergets hållfasthet som begränsar det hela.

Jag vill ta upp det här med modellerna igen. Visst ska vi göra så gott vi kan i varje ögonblick med de modeller jag visade här för isen. Här är ett diagram som visar medelvärdet av horisontella spänningar dividerat med vertikala spänningar. Det är ett klassiskt sätt att visa spänningsbilden som funktion av djup

Vi har ett överskott av horisontalspänning vid grunda djup och ibland har det framförts en hypotes att det beror på glaciationen. Man har samma sak i Kina där vi också har ett överskott.

Effekterna av de här skalven är rent spänningsmässigt väldigt små på sådana avstånd som 10 km. Orsaken till att vi får så mycket efterskalv är att vi redan har stora spänningar i området och då triggar man efterskalv. Här ser vi förskjutningarna i mm. I princip kan man säga att om vi fördubblar sprickradien så fördubblas också förskjutningen. Det är alltså ett linjärt samband.

Här ser vi de maximala skjuvspänningar vi kan ha vid olika djup. Vi har huvudfallet, det hydrostatiska vattnet,  $d$  v s vattentrycket med djupet, ökar på grund av vattnets egen tyngd. Det är hydrostatiskt vattentryck.

På 500 m djup kan vi maximalt ha 12,7 megapascal enligt den analys som jag nyss visade. Och de maximala förskjutningar vi förväntar oss, om det skulle hända något på sprickor med radie 100 m, är 26 mm. Man kan också jämföra med vad man observerat i svenska skalv, också från SKBs studie.

Det här är magnitud 1, 2 och 3. Med normala jordskalv observerar vi ofta radier som är mindre än 100 m. Här är förskjutningar för de normala skalven och då ser vi att vid magnitud 3 ligger flertalet skalv omkring 100m. Då har vi förskjutningar på 10 mm och lite mer.

Den här förskjutningens storlek bestäms av maximala spänningar, möjligen kan ett rimligt värde var 7-8 megapascal, att man har horisontella spänningstillstånd. Det är sprickradien som är det avgörande. Har man 100 m radie kan man inte få stora rörelser på 500 m djup

Här är isländska skalv som visar på 2,5 m rörelse och går sedan ner till nollrörelse. Man har gjort observationerna utifrån geodetiska metoder. Där vi har maximala rörelser på Island som i allmänhet ligger på 4 km djup. Där har vi meterrörelser, mycket mindre vid ytan. Det är väldigt få efterskalv, och en liten andel som ligger på översta 2km. Flertalet efterskalv är på större djup.

I USA är det liknande, här är djupet, och förkastningen ligger så här. De svarta prickarna är det bästa lokaliseringar man har av efterskalven och det stora flertalet ligger djupare än 2 km. Här är Kalifornien; det visar hur det ser ut vid stora skalv, spänningsfallet visas i megapascal. Ytan har rört sig vid en större jordbävning, 6,2, och spänningsfallen varierar kraftigt. Skjuvspänningarna är alltid maximalt stora. Spänningarna är aldrig homogena, de är alltid kraftigt varierande i jordskorpan och det är inte så konstigt med den sprickstruktur man har och den komplexa historien i allt som hänt innan skalv. Vad man bör göra inför ett slutförvar är att noga hålla koll på vilken spänningsbild man faktiskt har. När man spränger så får man ett stort antal mikroskalv efteråt och om man registrerar dem, som man gör på Island och här i Sverige, kan man bestämma deras mekanism och man kan bestämma vilka spänningar man har i berget.

Det gör man utan att förstöra berget, om man får mikroskalv efter sprängningar visar det var man har sprickor och hur sprickorna har rört sig. Man får en massa uppgifter om berget och gör man det här vid byggandet av anläggningar så kommer man att kunna se om spänningsbilden är så som man önskar. Då kan man anpassa utformningen om det visar sig bli en överraskande spänningsbild.

Här är skalv i Skåne, norra Sverige och sydvästra Sverige Datamängden är gammal och bygger på data som vi hade på data från början av 90-talet. De kommer från olika ställen för det är olika mekanismer. Om det är horisontella rörelser på skalven då ligger de här. De är

skalade efter magnitud. I sydvästra Sverige har vi de största här med samma mekanism man ser i Pärviförkastningen. Man ser den alltså även i småskalven.

Det upptäcktes tidigt, på 80-talet, att när isen försvinner vid glaciationen så kommer spänningsförhållandena att vara så att man får jordskalv. Hela jordskorpan blir instabil. OK det var det viktigaste.

### **Rune Nilsson.**

Före middagen berättade Nils-Axel att landhöjningen vid Höga kusten området var 1,4 mm/dygn. Efter middagen berättade Raymond att landhöjningen från samma område var 11 mm/år. Jag vill tro på alla föreläsare men nu har jag svårt. Då ställer jag frågan till representanterna från våra myndigheter, vem av dessa föreläsare ska vi tro på?

### **Nils-Axel**

Det är väldigt lätt att svara på! Jag talade om den maximala landhöjningen efter istiden, det som Raymond talade om var idag. Det är 9 000 år emellan.

Representanter från myndigheten fick tillfälle att yttra sig men ingen gjorde det.

### **Fråga**

Hur kan du få information om sprickradie och förskjutning nere på djupet i berget?

### **Ragnar**

Dels visade jag en bild som är baserad på en elasticitetsteori, det är den ena. Nästa är data från jordskalv och den följer jordskalvsanalysen. Man bestämmer sprickradien från frekvensinnehållet på vågorna. Ju större spricka man har desto större tid tar det för förskjutningen. Det bestämmer en hörnfrekvens, det har man kunnat kontrollera genom att man sett i gruvor så har man studerat förloppet.

### **Fråga**

Är det så att rörelseförloppen ökar ju längre ner i man går i berget?

### **Ragnar**

Ja, i början. Skjuvspänningen minskar ju längre ner man kommer på grund av värmen. Där emellan begränsas skjuvspänningen av det ökande vattentrycket,

### **Åke Nilsson;**

Det låter enkelt men då skulle man redan nu kunna sätta upp gränsvärden för det här området för här är respektområdet större. Då skulle man ju innan man börjar spränga sätta upp parametrar, hit men inte längre. Är det magnituden på de tänkta jordskalven som styr respektavståndet?

### **Ragnar**

Om man tittar på vilket avstånd man kan utläsa befintliga spänningar, det här respektavståndet. Då är det ju 30-40 km avstånd som kommer in. Man triggar stora jordskalv på sådana avstånd. Spänningarna i berget har man mätt i borrhål vilket är en omständlig procedur + att man måste borra genom berget för att få fram spänningarna.

Utnyttja mikroskalv kan man bara göra om man stör stabiliteten i omgivningen av tunnelorten som man driver ner. Omedelbart efter sprängningarna får man mikroskalv som har blivit triggade runt omkring sprängområdet. Att följa dem successivt ger en enorm information.

**Åke**

Hur ser du på magnitud 6, 7 och 8. Är det OK att bygga ett förvar på det här djupet om det skulle hamna i en sådan jordbävning inom 10 km radie?

**Ragnar**

Nu är det så att vi inte har hela sanningen för efterskalven och det beror på att vi är blinda, vi ser inte vad som händer de första minuterna. Det beror på att huvudskalvet har så höga signalnivåer på alla frekvenser så vi kan inte ens se småskalv under några minuter efter ett stort skalv. Det är sannolikt då det mesta händer inom de närmaste kilometrarna.

**Bo Malm**

Det kanske upplevs som förvirrande. Vi har haft respektavstånd på 200 m och flera km ifrån. Raymond och jag pratar om olika saker. Raymond pratar egentligen om influenser kring ett jordskalv och hur långt bort skalvens effekter kan ske över huvudtaget. Respektavstånd hos oss är alltså ett designmässigt avstånd som tar hänsyn till både storleken på zonen och storleken på de sprickor som finns i kapselhålen, de har ett väldigt nära samband, så blanda inte ihop begreppen. Jag håller med Ragnar full ut, skilj på de två begreppen.

Jag skulle vilja att du Raymond klargjorde din ståndpunkt när det gäller ett tänkt slutförvar. Om vi säger att vi har ett slutförvar som ska finnas där i 100 000 år - vilka föreställningar har du om de sprickor som kan uppstå i och omkring det här slutförvaret, deras karaktär och egenskaper?

**Raymond** Det var många frågor. Min föreställning kan ni ta få del av men det är vår samlade inställning som jag försöker sammanfatta. Min och mina kollegors föreställning är följande; Vi har ingen större anledning att betvivla större delen av det Niklas säger. Vi har väldigt många stora skalv, det har vi också kunnat bekräfta i samband med en istid. Det är möjligt att vi har många fler än vad vi och expertgruppen anser vara en rimlig summa. Niklas kommer fram till att han har 30 gånger fler. Låt vara att det kanske är på viset, det finns kanske anledning att betvivla vissa av Niklas observationer.

Vi kommer att få stora skalv i samband med glaciation, det var det ena. Det andra som vi fortfarande inte har fullkomligt klart för oss är att – finns det överhuvudtaget förutsättningar i berget för att trigga skalv i våra förvarsplatser. Det är faktisk en annan fråga.

Zonerna finns där, det finns zoner stora som nog att hysa skalv men det är inte bara zonens existens som styr det hela. Det är zonens riktning, ligger den lämpligt eller olämpligt till för en reaktivering? Det är spänningsfältet kring skalvet före, efter och under glaciationen. Är spänningsfältet sådant att man kan trigga ett skalv?

Vi och Ragnar sa nyss att det är väldigt svårt att trigga efterskalv ytnära, våra simuleringar visar att det är svårt att trigga sprickor som rör sig mycket över kapselhålen även om man har väldigt stora skalv nära. Det är klart att man inte vet allt, vi har mycket kvar att lära men vi vet tillräckligt mycket för att anse att detta är en trolig utveckling av ett förvar. Så vi tror oss kunna bygga ett förvar som faktiskt tål skalv. Är det svar på din fråga?

**Bo Malm**

Jag vill kontrollera att jag uppfattat dig på rätt sätt. Du säger ungefär som så att de sprickor som redan nu finns är de som i huvudsak kommer att reaktiveras och i den mån som det uppstår andra sprickor så är de inte av den karaktären att de skulle kunna hota ett slutförvar i någon mening. Är det rätt uppfattat?

**Raymond** Nästan rätt uppfattat. Det återstår vissa beräkningar, det är naivt att inte tro att det kommer att bildas nya sprickor i framtiden och det är det ju heller inte någon som har påstått. Det är klart att det bildas nya sprickor men ju mer eller större sprickor du har desto större deformationer kan dessa sprickor ta upp.

Mängden energi som kommer in i ett system måste ju ta vägen någonstans. Det krävs en ofantlig energi att spräcka en bergplint i relation till att faktiskt röra plinten längs dess gränser. Då måste man återigen ställa sig frågan – finns det förutsättningar för att detta ska ske?

Vi har lite beräkningar kvar på att lägga de här pusselbitarna kring just dessa frågor. Kan vi spräcka plintar i förvaret, vi tror inte det i nuläget. Det mesta pekar på att så inte är fallet.

**Bo Malm**

Jag tackar för svaret och jag kanske ska ge anledningen till min fråga. Det är inte av egenintresse men som beslutsfattare så är man ju glad åt att utlåtandena är så lika som möjligt. Det är knepigt när man ska ta ställning mellan två utlåtanden som divergerar kraftigt från varandra. Så tack för svaret.

**Nils-Axels kommentar**

Det som Ragnar sa är intressant att vi har ökande horisontella spänningar i övre zonen och det är mycket det som de här beräkningarna är gjorda på. Där kommer något väldigt intressant för istiden eller efteristidens kolossala landhöjning, där hade vi 1,4 mm/dygn uppe i Ångermanland och 0,4 i Stockholm. Det är en kolossal stigning och där har vi då en annan faktor som normalt är i berget och som har varit där i miljontals år, där vi har platttektoniska rörelser som har försökt trycka ihop Sverige.

Nu kommer något som lastar på och lastar av och då just i övre zonen en fantastisk expansionskraft som överkommer de horisontella spänningarna. Då är det nya linjament som har förmåga att röra sig. Man kan t o m tänka sig att det har varit så kraftig landhöjning att vissa block har hoppat upp. En annan form av tektonik är graitationen där allt bara faller ner.

Det är något som vi inte har klarat ut hur det ska göras, dels i mätningar, dels i modeller när det gäller dessa kraftiga jordbävningar direkt efter istiden och deras effekt på övre zonen. Med övre zonen menar jag 1 km. Man ska inte vara helt säker på att det är bättre att penetrera det ännu mer.

**Kjell**

Jag hade lite svårt att få ihop begreppen här. När jag lyssnade till Ragnars föredrag som talade om efterskalv på stora djup, pratade om förskjutningar mm. Då kan man fråga sig vad blir då problemet, jag får inte ihop det med vad Mörner säger. Kan du kommentera det?

**Ragnar**

Ja, jag gjorde ju det. Det är helt och hållet beroende på att maximera defaultradien till 100 meter. Om man vill ha större plintar är det kanske lite mindre säkert p g a temperaturspänningar och byggandet i sig Trots att plinten varit hel väldigt länge så har den inte haft en brottavvisning i mitten kanske. Det är därför man kan bedöma eventuella effekter om man har spänningsbilden väldigt klar för sig. Då kan man se vad som kan hända. Man kan lägga in mer komplexa modeller och om några år är datorerna än mer kraftfulla.

### **Kjell**

Det är väl vad SKB gör?

### **Ragnar**

Ja, just det.

### **Kjell**

Och Niklas, din kommentar, hur går det ihop?

### **Nils Axel**

Modellerna man gör för att beräkna istider är kolossalt olika. Vi hörde om en 1,6 km tjock is, det kan aldrig vara frågan om det. Vi måste vara uppe i 2,5-3 km för att få ekvationen att gå ihop. Det är helt andra beräkningsgrunder. Man frågade en speciallist som Lambeck som har en mycket klar uppfattning innan han går in i arbetsmaterialet, så det är roligt att göra våra egna beräkningar men vi måste komma tillbaka till så ofärgade data som möjligt. Det ska inte vara styrda av en global modell som egentligen inte stämmer någonstans.

Det är Lambecks modell som inte stämmer. Men den gör inte observationsdata rätt. Vi vet ju att det måste varit en större landhöjning som kan balansera den här isen. Vattnet finns ju i berget, spänningarna påverkar vattnet i berget det påverkar gasen och metanisen. Allt det där är en familj av olika skeenden där man måste ta med allt och det tycker jag vi är långt, långt ifrån. Lagg inte in det i ett slutligt förvar som man aldrig kommer att göra något åt utan hellre i ett bergtrum där det går att kontrollera och kanske användas.

### **Virpi Lindfors**

Vi måste sluta diskussionen för dagen, Björn Lundh ska få sista ordet.

### **Björn Lundh**

Jag vill ta upp det här med modellerna igen, visst är det så att vi ska göra så gott vi kan i varje ögonblick. Den modellen som jag visade, Lambecks, den passar. Han har varit här många år som professor i Lund på deltid och samlat in data. Så gott som det går stämmer de här modellerna med observationerna vi har.

Sen finns det olika sätt att bygga modeller, den andra ismodellen jobbar utifrån andra förutsättningar så vi prövar ju de olika vinklarna som finns. Har man en ismodell och en god kunskap om den elastiska strukturen i jordskorpan så kan man bestämma ganska väl hur stora skjvuspänningar som uppträder under isen i övre delen av jordskorpan eller hela jordskorpan. Vi försöker ta fram ny kunskap hela tiden.



## **Kan man undvika riskerna för jordbävningar med respektavstånd i slutförvaret?**

### **Virpi Lindfors**

Nu ska vi ha ett pass om ”Kan man undvika riskerna för jordbävningar med respektavstånd i slutförvaret?”

Första talare ut är Harald Hökmark- Han är fil mag i fysik och matematik och arbetar på Claytech Knowledge AB, är här som SKBs konsult idag. Främst arbetar han med frågor som har med säkerhetsanalysen att göra.

### ***Harald Hökmark, SKB***

Då ska jag tala om en del dynamiska beräkningar jag gjort för att komma åt respektavståndsproblematiken. Låt mig repetera lite av vad Raymond sa igår. Det man är bekymrad för är att man har en potentiell förkastningszon med viss bredd och där det sker ett skalv någonstans och möjligen sekundära rörelser i någon spricka utanför. Vi vill ha reda på hur långt ifrån den här zonen vi får lov att lägga våra kapslar.

Problemet är att de sekundära rörelserna längre ut i berget kan skjuva av och skada kapseln. Man måste betrakta kapseln som skadad i säkerhetsanalysen. Det finns en gräns där att med 0,1 m skjuvrörelse så räknar vi den kapseln som skadad oavsett om den är det eller ej. Tillämpningen är ju då att man försöker hitta lämpliga zoner och bestämmer sig hur nära den zonen vi får lov att lägga kapslarna.

En viktig parameter talar om hur mycket av skjuvspänningarna som belastar en möjlig förkastningszon som man blir av med p g a rörelserna. Det är ett mått på hur spänningarna runt omkring berget kommer att se ut. Här är en modell, en möjlig förkastningszon, ett område på omkring 500 m nivå där vi har ett antal sprickor på olika avstånd från genomskärningslinjen, de har olika riktningar. Vi tittar på sprickor på 200, 600, 1000 och 1500 m avstånd runt omkring hela den här volymen.

Sprickorna har egenskaper som vi hämtat från platsmodellerna. Här har vi jämfört resultaten med motsvarande resultat från en annan modell för att visa att olika beräkningssätt ger samma resultat.

Då ska jag visa en liten film, den beskriver skalvet. I det här fallet har vi ett skalv som når 1 km under markytan, området på 500 m nivå, där vi har våra kapslar och här finns ett antal sprickor i modellen och då gäller det att se vad som händer med sprickorna under skalvet.

Här har skalvet inte nått upp till markytan, ett antal sprickor på 300 m diameter ligger på olika avstånd. Vi följer rörelserna på sprickorna, den röda kurvan svarar mot de som ligger på 200 m avstånd, den prickade på 600 m och heldragna blå på 1000 m avstånd. Det vi har på högeraxeln är tiden efter att skalvet har utlösts och när sprickan börjar röra sig.

Horisontella sprickor, samma storleksordning på 30 mm eller kanske 40 mm, sprickor som lutar åt andra hållet, nästan inga rörelser alls vare sig på ena eller andra sidan. Det visar att

inte alla sprickor rör sig maximalt. En del sprickor kommer alltid att ha sådana riktningar att de inte rör sig.

För fallet där skalvet går ändå upp till markytan är det likartade resultat. Vi har t o m tittat på sprickor som skär igenom själva skalvzonen. Avståndet från sprickans centrum till korsningen med den stora förkastningen är 93 m, horisontella avståndet bara 34 meter, då får vi lite mer rörelse, 105 mm för den 300 m stora sprickan.

Sammanfattning av resultaten; Vi ser maximal inducerad skjuvrörelse, detta är avstånd från förkastningen. Sprickorna på 200 m rör sig 62 mm, det är max som vi såg ,och för den andra typen av skalv blev det kanske 50 mm. På 600 m avstånd var de största rörelserna 25 mm, kanske 10 mm.

Som Ragnar sa igår, sprickor som är stora kan röra sig mycket och sprickor som är små kan röra sig lite mindre. Styrkan på jordbävningen var magnitud 6 eller 6,2 för de här händelserna. Själva respektavståndsfunderingarna innebär att ingen av sprickorna rör sig 100 mm utan ganska mycket mer. Det betyder att på det här avståndet 200 m så kan man, om man tror på resultaten, deponera kapslar i sprickor som är 300 m och mindre från den punkten och utåt.

Det är lite mer reserverat för avsnittet där det trots allt blir större förskjutningar, man undviker att deponera kapslar i sprickor som är större än 150 m i det här området som är mellan 100 till 200 m från skalvet. Det är så som man kan tillämpa resultaten. Detta är maxrörelser, de flesta sprickor rör sig mycket mindre.

Det är viktigt att försöka förstå om skalvet som vi har modellerat, är hyfsat realistiskt och hur det platsar bland verkliga skalv som finns registrerade i databaser. Det är gjort väldigt konservativt, vi har magnitud 6 skalv och vi har tvingat den här rörelsen bli så stor som ungefär 1 m i genomsnitt. Det innebär att vi har större rörelse än typiska skalv ska ha av den här magnituden och det innebär också att vi har en påverkan på berget som är mer intensiv än vad ett genomsnittsskalv av den här storleken ska vara.

### ***Nils-Axel Mörner***

Kan vi undvika det? Nej, det tycker jag inte och respektavstånden gillar jag inte. Jag ser uppsprickning på ett helt annat sätt och vi har en problematik som vi delvis diskuterade igår och sedan har vi KBS-metoden. Jag har en helt annan åsikt och därför kan jag inte lita på ett sådant förvar utan jag vill ha en annan typ av förvar.

Vi har ett exempel från Italien, ett magnitud 7 skalv. En typisk bild, vi är nere på 10 km och det är inte ett enda plan som går rakt upp, det är väldigt vanligt att det är olika block. I Finland har man hittat stora jätteblock. Här har vi en skjutning på 2-3 m så kommer vi upp till ytan. Det är alltså huvudplanet och sedan sidoplan. Då är vi uppe 1 a 2 meter i sidoplanen, de andra straxt under. Även långt bort kan vi komma upp i ett par dm. Zonen är 10 km om vi går upp i det här på 500 m djup. Var har vi då ett respektavstånd som är säkert där vi säger, att här händer ingenting? Det är svårt, var skulle det vara någonstans? Det som händer på ytan måste på ett eller annat sätt transformeras ner.

Det är den familj som vi har. Hur vi än gör så har vi rumpan bak. Sprickbildningen vid den här stora jordbävningen med segmentering runt, 5 eller 6 skalv utmed zonen. Jättejordbävningen på hösten 10 430 hade en zon som var sprickbildning på 200 till 50 m. Det är ett väldigt stort område. Vi vet ungefär var huvudförkastningen går men sedan kommer

sidoförkastningar på 8 m, det är den typ som jag visade i det italienska fallet. Förkastningen hänger ihop med huvudförkastningen och på ett djup som vi för tillfället inte känner. Även sådana här block ska man få ihop med något som hänt på djupet

Den andra i Boda, för 10 663 år sedan, med epicentrum här, ett jättelikt område där det har spruckit, ibland är det grottor, ibland förkastningssprickor och hur det transformeras ner till linjen här i kanske i stora block är inte heller klart. Intill dess har vi ju inte några respektavstånd som jag litar på.

Vi har tittat på Boda och hur ytan ser ut, det är en förfärlig yta. Jätteblock har hoppat mot isrörelsen och mot gravitationen. Hur ska det transfereras ner? Dels är det den seismiska vågen, hur den skakat ytan och dels så måste vi ta in metangasexplosionen. Det är i alla fall 12,5 km från epicenter och hela det här måste systematiseras i berggrunden ner till epicentrum. Därför tycker jag att respektavstånden är utan respekt.

När vi har SKB-modellen ser vi att observationerna är mycket större uppsprickning och dessutom urbergssprickningar som jag visade igår. Om uppsprickningen är orsakad av stora magnitud 8 skalv är respektavståndet på 50, det funkar inte, det måste vara mycket, mycket större eftersom det är observationer. Är det inte så att de bara är orsakade av skalv utan också andra orsaker som vattentryck och metanexplosioner. Ja då är vi inne i en helt annan familj av problem. Då funkar inte respektavståndet.

Det finns en annan sak som vi inte har kläm på och det är metanisexplosioner och vattenavgång men det kan också vara förknippat med iskanten. Det är huvudargumentet för att säga att detta med respektavstånd, enligt mitt sätt att se, och jag skyr inte ordet, nonsens!

Då är vi tillbaka till modellen på magnitud 7 och jag har försökt tala om de här fenomenen. Sedan har vi tidsfaktorn, vad händer idag och 100 000 år framåt i tiden och 150 000 år bakåt i tiden? Någon form av seismisk aktivitet efter istiden är väldigt hög, vi hade det i början. Vi har Lövendals sprickor, uranfixering i sprickor. Flera daterade runt 20 000 år. Vi har också geoiden, vattenytan. Nu drar sig vattenytan neråt vid landhöjningen men när en istid kommer, stiger den. Vattnet stiger upp från undergrunden, det ska också in i bilden, permafrost ska in.

Det visades en bild igår på permafrost på sprucket berg och det sas att det var permafrost. Det kan det ju aldrig vara tal om. Bodagrottan kom upp ur havet för 3-4 000 år sedan, det var varmt som idag, det var varmare än idag. Det finns ingen permafrost i Hälsingland, det är löjlig kommentar.

Sen har vi etik och moral, om det kommer ett problem så kanske det är på det sättet hur man svarar på det, då är man intresserad av maximala säkerheten i ett långtidsperspektiv. Om man i stället säger, usch, det där vill jag inte se, då är man bara intresserad av maximal framgång i korthetsperspektivet.

Jag har sagt att jag inte gillar KBS-metoden där man lägger ner det under vattnet, går därifrån och säger att det fixar berget. Jag måste då komma med något annat, mitt alternativ är då, lägg det i en hög bergklump, gör en förvaring där man kan kontrollera det, borta från terrorister och sånt. Då ligger det omgivet av en artificiell krosszon som dessutom hjälper till om det skulle vara seismisitet. Och jag har säkerheten mot terrorism, mycket snabb kontroll. Det finns inga krav på samhället, man kan säga att vi bjuder på en kontroll, återtagheten är bra och framför allt kan vi transmudera det och det är genomförbart. Det är billigare, däremot ska vi ha en allsidig analys av den metoden, den har konstant förvägrats oss

Vi har ett energisystem som krackelerar och då är det intressant kanske med ny teknik som kan utvecklas. Idag kan vi inte använda avfallet men människan kan förbättra tekniken, däremot kan vi inte switcha av naturliga processer som jordbävningar. Vi kanske kan hoppas på människan men vi kan inte ändra geodynamiska processer, det ligger i alla fall 96% av energin kvar där. Här har vi nästan en skyldighet mot kommande generationer. Det var lite av bakgrunden och då fick jag in lite vad jag tycker om det.

CLAB är ett noll-alternativ och när istiderna kommer håller vare sig KBS eller vi och vi ska försöka transmutera innan dess.

### ***Ragnar Slunga, FoI***

Vi har hört hur ett jordskalv påverkar närområdet, vilka förskjutningar man kan få. Då analyserar man skjuvspänningar som beror på rörelsen från det stora skalvet. Vi bör förvänta oss att vi redan från början har maximala skjuvspänningar i berget som kan vara så här stora men kan vara normalt lite mindre.

Som jag visade igår så motsvarar t ex 100 meters sprickradie, dvs en 200 meters diameter, en förskjutning på ungefär 26 mm på 500 m med de maximala spänningarna på 500 m djup. Om man ska vara konservativ ska man addera den här förskjutningen med de förskjutningar som induceras med den här sprickrörelsen. Det gäller att de råkar samverka i förskjutningen, då kan man hamna i dubbla värdet.

Man kan komma fram till mycket vad som händer vid jordskalv genom att studera efterskalv. Tyvärr är vi delvis blinda, seismologerna ser inte vad som händer någon minut efter ett stort skalv, ser inte de händelser som omedelbart äger rum i samband med stora skalv. Det gör att man inte helt kan se effekterna rent seismiskt och då är den alternativa metoden att titta på vilken ny sprickbildning man har.

Jag tycker att analysen håller även om man har ett jordskalv som delar sig i flera sprickzoner när man kommer upp till ytan så är ju den elastiska analysen korrekt. Frågan är om man kan ha sprickor vid ytan i ett kompetent berg? Det kan man ha. Vi har ju bergknallar som har spruckit i samband med stora jordbävningar, så helt hela, fina bergplintar som har spruckit, finns. Där måste man gå till en sannolikhetsbedömning och räkna på det. Om sannolikheten blir väldigt liten så är vi där vi var från början på gårdagen att en liten sannolikhet gör att det inte är en relevant risk.

Jordskorpan är ju väldigt gammal. Man kan tänka sig att uppsprickningen är där unga sprickor skapas mest i relation ny berggrund – ju äldre berggrunden blir och ju fler andra istider de har varit med om – ju mer etablerat är spricksystemet. Ett etablerat spricksystem klarar olika påfrestningar utan någon större nysprickning. Ju äldre de blir desto mindre risk för nysprickning eftersom det har gått igenom så många istider.

### **Arbetsgruppen frågar**

Jag riktar min fråga till i första hand Ragnar. Med anledning av Haralds genomgång visade det sig att oavsett storleken på magnituderna av jordbävningar så påverkade det inte skjuvrörelserna i sprickorna. Är det en allmänt vedertagen uppfattning?

**Svar**

Det är helt klart att sprickan är begränsad av sprickans totala diameter. Hur stor spänning det är, har man en begränsad spänning och är uppe på det här djupet så får man inte större spänningar än det här, i de fall som gäller. Enligt min bedömning är det riktigt,

**Fråga**

Så då är det egentligen inte intressant hur kraftiga jordbävningar vi kommer att få?

**Svar**

Jo, om man ska titta på sannolikheten, en stor jordbävning har ju mycket större volym. Det är kanske ett 300 km långt område och det påverkar ju sannolikheten att det ska komma i närheten av ett förvar, naturligtvis.

**Fråga**

En annan fråga, händelsen i Italien som Mörner visade, kan du Ragnar kommentera den? Där det var på stort avstånd var rörelsen mer än 2 dm, enligt Nils-Axel.

**Svar**

Vad är det för berggrund vi hade, en stor sedimentär berggrund på ytan. Det är Appeninerna. Då är det sannolikt att man får ett större område som berörs på ytan över det kompetenta berget som egentligen driver jordskalv. Man kan nog ha många sprickor vid ytan men vad som framgick av diagrammet är ju att de verkar vara i existerande sprickzoner, i de allra flesta fall. De är alltså inte jämförbara, vi pratar om en helt annan bäring egentligen!

**Nils Axel**

Som jag ser den är de helt jämförbara, jag kan inte se någon skillnad.

**Mikael Jensen**

Låt mig säga helt kort, att det är mitt intryck att allt det som Mörner säger egentligen kan hända men också det Ragnar säger att man måste göra sig en sannolikhetsbedömning. Jag ser ingen skillnad i vad som sägs här, det enda är att som Mörner utgår ifrån, om det värsta händer då blir allt besvärligt. Är det rätt uppfattat, att det handlar om en sannolikhetsbedömning?

**Nils Axel**

Ja, det är min åsikt.

Jag tror också att det är så, även om jag inte är expert, att om vi ser på bilden Raymond visade igår t ex Simpevarp och Laxemar, så är det ju en gammal berggrund och den har varit utsatt för så mycket att förmodligen dessa rörelsevägar redan är etablerade. Därför är sannolikheten mindre att man får helt nya genomgångar om det skulle ske ett skalv på stora djup

För mig har det varit så, att vi för 25 år sedan har satt oss i en båt, båten är väldigt svår att vända och vi försöker hitta på skäl för att låta båten gå vidare. Jag kan inte göra det, jag måste se på alla möjligheter som finns runt om för att jag är inte intresserad av att sitta i båten. Jag är intresserad av framtiden, där är den stora grundskillnaden. Och sedan när vi kommer till det som vi nämnt som gamla och nya rörelser, visst är det så.

För länge sedan, 1991, skrev jag ett arbete där jag just visade det att vi har en urgammal tektonik, åtminstone de sista 80 miljoner år då platttektoniken bara knuffat Sverige sydost ut, det är den långa 80 miljoner kraften som fått verka in i sprickrörelser.

Sedan kommer under den här sena kvartärtiden de snabba belastningarna och avlastningar som får berget att utsättas för stress i helt andra dimensioner och i alla riktningar och det är därför vi står inför möjligheten att ha unga nya tektoniska rörelser och det får vi inte glömma.

### **Kjell**

Efter Mikael och Ragnars sammanfattning, frågan till Mörner blir då – kan du utesluta att om man lade in dina effekter i analysen så skulle det ändå vara säkert om man lade in sannolikheterna? Är det inte lite förhastat att överge metoden innan man gjort analysen?

### **Nils Axel**

Vi kommer aldrig att överge metoden, jag ifrågasätter respektavstånden. Jag har ett enklare sätt att förvara det på. Jag lägger det i ett tomt förvar som jag kan kontrollera.

### **Fråga**

Jag har en fråga till Harald eller om det möjligen finns någon från SKB här.

Ni hänger upp er mycket på att man ska undvika sprickorna ni talar om med olika respektavstånd. Hur goda chanser har man att hitta sprickorna? Jag har själv jobbat med sprickor från olika delar av tunnlar o s v. De är knappt synbara. Ni pratar också om enskilda sprickor, det finns ju också spricksystem som är mer eller mindre sammanhängande men som går i samma riktning. Är det också något man måste tänka på?

### **Munier**

Niklas jämför äpplen med päron. Att ett block och ett berg flyttar på sig av någon anledning är inte detsamma som att en spricka rör sig på 500 m djup. Det är helt andra processer och spänningsfält. Niklas är en entusiastisk och energisk geolog, han har varit överallt, han observerar och dokumenterar saker, han tar foton, ritar av, det är han väldigt duktig på. Vad han är mindre duktig på är att ge en fysikalisk förklaring till de fenomen han observerat och ett stöd för de hypoteser han framför.

Niklas anser att metangasexplosioner kan spränga berg men vi har inte sett någon analys som visar hur det är fysikaliskt möjligt att spränga berg med metangas. Det är att jämföra äpplen med päron att som Niklas jämföra Bodagrottsfenomenet med sprickor i berg - det är två helt olika saker. Jämförelsen är inte ens rättvis. Jag skulle vilja veta från Niklas – vad blir effekterna av ett skalv på en spricka i berget?

### **Nils-Axel**

Det är den enskilda sprickans dimensioner som bestämmer hur just den sprickan ska kunna röra sig så att två sprickor tillsammans rör sig som en jättestor spricka. Om det finns en sorts diskontinuitet mellan de olika medlemmarna så kommer det att styra rörelsen hos de enskilda sprickorna. Det blir inte mycket större än sambanden som Ragnar visade tidigare.

Man måste se på alla fenomen. Vad jag försöker göra med den uppspruckna ytan, för det är det jag kan, är att se att det dels har spräckts över en större area än respektavståndet, var man än är på ytan. Sedan är det inte bara en spricka utan en hel familj av sprickor som hänger ihop. Det har direkt relevans till respektavståndet. Vi har material från Finland där man också har sett stora kuber, block som har rört sig som inte alls är ytliga när de går djupt ner.

Metanavgång är inte alls konstigt. Det har registrerats på en massa platser på jorden och vi har ett konstant sipprande av metangas i nästan varje spricka vi ser. Isen är ju ett utomordentligt lock och då kan det ackumuleras där det är lämplig stress, tryck och temperatur. Så fort tryck

eller temperatur ändras, händer det explosionsartat. Man har sett detta på havsbotten och där sett de kolossala sprängningseffekterna.

**Rune Nilsson**

Två korta frågor till Nils-Axel. Du talade om uranfixering i sprickor. Vad avses med detta och hur ser kopplingen till respektavstånd ut?

**Svar**

Intressant att du tog upp det. Jag skulle försöka hitta Lövendals gamla arbete. Han gick till olika sprickor i Sverige och såg att på ytan i sprickan fanns det uranfixering. Så daterade han det och fick många åldrar. Jag har precis lagt ner min institution och allt mitt material ligger på min sons bondgård i Skåne och jag kommer inte åt det. SKB har det någonstans. Vi bör titta på det med friska ögon, stress i berg, vi har inte vaskat ut det, men han hade förvånansvärt många åldrar omkring 20 000. sedan måste man veta exakt vad dateringen representerar, den verkliga fixeringen av uran på ytan av sprickan.

**Rune Nilsson**

Den andra frågan; Hur kopplar du uranfixering till respektavståndet som ju är rubriken på dagens avsnitt?

**Svar**

Ett annat spricksystem, seismiskt system som också kan förekomma under istidens maximum, vi måste ha in det här i bilden. Det var det historiska skeendet jag talade om att man säger att det bara förekommer jordbävningar efter istiden har släppt sitt grepp, och kanske straxt före men inte under istiden. Varför skulle det kunna vara under istiden? Jo, för att när vi har lagt isen är det något som kommer kort tid så lastas det av. När vi talar Grönland och Antarktis har isen legat i kanske 30- 40 miljoner år.

**Leif Hägg**

Ja jag har lite funderingar på rörelser i berget och framför allt då i slutförvaret. Om en sån här spricka rör sig hur omfattande blir det, blir den en kapsel eller blir det 10 kapslar, eller som finnarna har räknat med 60 kapslar som klipper av? Det är ju även intressant för utvecklingen i det här för då kommer nästa fas in och det är bränsleupplösning och transporter i berget. Men det är ju en fråga som vi inte ska diskutera idag. Hur många kapslar skulle det bli om det värsta skulle hända?

**Allan Hedin, SKB**

Jag ska ju prata om hur vi använder det här i säkerhetsanalysen i nästa presentation så jag kommer in på den frågan då. Vi spar svaret på den frågan.

**Bertil Alm**

En fråga till Harald och Ragnar med anledning av vad Niklas har sagt här. Han hänvisar till en finsk rapport, Valajärvi, där en spricka har vikit av rakt genom en plint. Vad har ni för kommentarer till den rapporten?

**Svar**

Jag känner inte till det mer men det kan förekomma och man får se det med en sannolikhet.

**Fråga**

Om den här sprickan finns, vilket den gör, då måste man ju väga in det. Hur påverkar det diskussionen om respektavstånd?

### **Svar**

Finns den så är den ju verifierad när man gör platsundersökningar då har den också ett respektavstånd och då finns den med i matchen från början. Problemet är ju om rörelsen sker i fullständigt intakt och kompetent berg där ingen skulle kunna vänta sig. Inte i de zoner som är verifierade och försedda med respektavstånd.

Man bör noga undersöka området och se om man kan begripa hur, vad är processen för att få så här stora spänningar i en plint att den spricker.

### **Matti Wahlström**

Jag är förtroendevald och är med i säkerhetsgruppen i Oskarshamn.

Jag är tacksam att Mörner är med i sammanhanget. Du visar ju verkligheten, du har fått medhåll av herrarna här att det kan bli stora scenarier när allt rasar ihop. Då frågar jag – ska man godkänna den berömda promillen som vi har i kapseltillverkningen eller vad hamnar vi på för godkännande av den här risken?

### **Nils Axel**

Frågan är ställd till mig och jag har sagt att jag inte gillar SKB-metodiken, det är bättre att ta DRD-metoden som vi inte har fått undersöka ännu, men det kanske kommer i sista säsongens sista ögonblick. För där kan vi behålla kontrollen, handlingsfriheten och framför allt utnyttja energin vid transmutering och mer eller mindre oskadliggöra avfallet och förminska det. Vi kan inte förneka avfallet och vi måste ta hand om det och göra något. När man gick in för idén med slutförvar, det gjorde man i slutet av 70-talet, då hade man en geodynamisk bild och av den finns nästan ingenting kvar idag.

### **Charlie Hultén**

Vilken risk ska man ta som är acceptabel. Jag har översatt en bok om riskhantering en gång i världen och jag håller med om att man ska ha ett slags kalkyl och komma fram till en förhandlingsbar och acceptabel risk. Men det finns vissa situationer där värstafallsscenarioer är berättigade. Hanterbarheten spelar en stor roll om man ska välja värstafallsscenarioer eller inte. Min fråga till panelen - är inte vår situation med högaktivt avfall en sådan situation.

### **Mikael**

SSI har tagit upp frågan och gett en siffra och den kommer Björn att nämna efter kaffet.

### **Roland Davidsson, Hultsfreds kommun**

Som representant för en kommun tycker jag att vi med en dåres envishet försöker bevisa att det sämsta berget i Oskarshamn och Östhammar ska duga trots att alla experter säger att det här berget är under all kritik. Vi tittar inte ens på Hultsfredalternativet. I den här MKB processen ska det finnas flera alternativ. Nollalternativet existerar inte, det måste finnas ett mer än Oskarshamn och Östhammar. Mörners alternativ kan vara ett de tänkbara och Hultsfred kan vara ett. Varför försvarar vi Oskarshamn?

### **Virpi**



Ingen frivillig som vill svara på frågan?

**Saida vill svara på frågan.**

Jag vill svara på alternativ redovisning som är en väsentlig del av miljökonsekvensbeskrivningen. Jag tycker att när du säger att alla har sagt, tror jag inte att du inkluderar SGU. Det är de som har gjort förstudierna till det som sedermera har lett till platsundersökningarna så det där med "alla" får man sätta inom citationstecken.

De allra flesta har ju sagt att ett säkert slutförvar kan man lokalisera till väldigt många ställen i Sverige. Därav både Oskarshamn och Östhammar, och det som pågår idag när det gäller alternativredovisning är att vi ska uppfylla ändamålet med ett slutförvar. En del metoder uppfyller inte ändamålet eftersom de inte är slutförvar utan ett mellanlager liksom det vi har i CLAB. Den här redovisningen kommer vi att göra och lägga fram för samråd under våren. Det är viktigt att komma ihåg att man inte har landat i Oskarshamn och Östhammar från bar himmel utan det är en process som har lett till platsundersökning och som regeringen har backat upp och funnit rimlig och resonabel.

**Bo Strömberg, SKI, får ställa sista frågan;**

Jag tänker på nysprickbildning och min fråga till SKB är, hur vägs den in i analysen? Vi har fått höra att i ett uppsprucket berg är risken för nysprickbildning väldigt liten. Vi har ju Forsmarkslinsen som har mycket få sprickor. Är det här en risk som man måste beakta och hur väger man in den i så fall? Har ni något angreppssätt?

**Svar**

Respektavståndsproblematiken såsom den är ställd, är att man har verifierade zoner och försöker hitta modeller för att beräkna hur långt ifrån man måste hålla sig när man deponerar kapslar. Därför har egentligen inte respektavstånd med sprickbildning att göra - det är ju en annan process.

## Säkerhetsanalys och kravbild

### **Virpi, Lindfors**

Vi har nu kommit till sista passet som handlar om Säkerhetsanalys och kravbild, det är tre talare och efter varje talare ställs frågor och antalet frågor styrs av hur länge var och en pratar.

Förste talare är Allan Hedin, han är fysiker och sedan tio år säkerhetsanalytiker vid SKB och projektledare för SKBs säkerhetsanalyser av slutförvaret.

### **Allan Hedin, SKB**

Jag ska prata om säkerhetsanalys i allmänhet och vad vi har för oss på den fronten just nu på SKB och i synnerhet hur vi hanterar jordskalv. Vi är ju som alla vet inne i ett platsundersökningsskede nu och vad gör vi då när de gäller säkerhetsanalyser under det här skedet. För tillfället så jobbar vi på en säkerhetsanalys som kallas SR Can av historiska skäl men jag ska inte gå in på namnvalet. Den är baserad på de modeller av platserna, Forsmark och Laxemar som vi bygger under det inledande platsundersökningsskedet.

Den här ska vi leverera till myndigheterna i oktober i år. De ska granska den till sommaren 2007. Analysen är inte kopplad till ansökan om inkapslingsanläggningen som kommer nu till sommaren. Det är en avstämning på var vi står idag, tillfälle att få synpunkter på vår metodik och säkerhetsanalys inför nästa analys som ska göras. Vi har gjort en interimrapport för SR Can med tonvikt på metodik och den levererade vi i augusti 2004. Den är granskad av SSI och SKI och också av en internationell granskningsgrupp som de tog till hjälp.

Så kommer efter SR Can den säkerhetsanalys som vi kallar SR Site. Den kommer att bli en del av ansökan att bygga slutförvaret och vår plan är att lämna in en sådan ansökan i slutet av 2008. Den blir alltså baserad på de senaste platsmodellerna vi bygger från våra platsundersökningar och med den modernaste layouten vi kan ta fram för förvaret. I princip kan man säga att SR Site är en uppdatering av SR Can.

Vi har gjort något som kallas preliminära säkerhetsbedömningar av berget på alla tre platser vi tittar på, alltså Simpevarp, Forsmark och Laxemar. De är redan levererade. Laxemar levererade vi elektroniskt till Oskarshamns kommun igår. Huvudsyftet är att bedöma bergets lämplighet när det gäller långsiktig säkerhet i en första bedömning och också ge en återkoppling till de fortsatta platsundersökningarna. Metoder man gör det här med är att man jämför med tidigare fastlagda krav och kriterier man har på berget. Det var allmänt vad vi gör.

Så går jag in på SR Can. De huvudsakliga syftena med det här jobbet är att preliminärt bedöma säkerheten för ett KBS-3 förvar i Forsmark och Laxemar och med kapslar som är så utformade som vi beskriver i den ansökan som vi gör för inkapslingsanläggningen nu till sommaren. Ett annat syfte är att ge återkoppling till fortsatt kapselutveckling, till utformningen av djupförvaret, till fortsatta platsundersökningar och som alltid till vårt program för forskning kring frågor av betydelse för långsiktig säkerhet - det som vi beskriver i våra FUD program. Och återkoppling till oss själva och kommande säkerhetsanalyser. Ett tredje syfte är att bereda myndigheterna tillfälle att granska vår preliminära säkerhetsredovisning inför tillämpningen i den ansökan vi avser att lämna in för ett slutförvar. Rapporteringen från SR Can blir en huvudrapport, lite svårt idag att bedöma hur stor den blir men ca 800 sidor. Under den ligger ett 10-tal huvudreferenser på en å tvåhundra sidor. Allt

skrivs av experter för experter och på engelska. Det blir även en sammanfattning på svenska. I början av 2007 ska den vara färdig.

Bara en bild av hur saker och ting hänger ihop men det är väl ganska klart ändå. Om man börjar i den här rutan så pågår platsundersökningen i Oskarshamn, den genererar en massa platsdata. Man använder dem för att bygga en modell av platsen och den modellen med sprickzoner och allt annat som vi är intresserade av går in i säkerhetsanalysen. Man tittar också på hur förvaret bör utformas och kommer med specifikationer på hur det skulle kunna se ut på just den här platsen som också går in i säkerhetsanalysen. Sedan är analysen så mycket mer än bara berget, det handlar om vad bränslet har för egenskaper, hur kapslarna ser ut, buffert och återfyllning och många andra saker. Vi kommer med en analys som dels gör en bedömning av hur bra det här blir om man bygger på det här viset man ger också en återkoppling till vidare platsundersökningar till hur man skulle kunna förbättra utformningen av förvaret och vilka frågor man behöver veta mer om forskningsmässigt.

KBS-3 förvaret behöver jag väl inte prata mer om i den här församlingen. Det använda kärnbränslet i form av bränslestavar lägger man i kopparkapslar med en insats av gjutjärn. Det är insatsen som ger den mekaniska hållfastheten. Vi omger kapslarna med bentonitlera på 500 meters djup i urberget. Den primära säkerhetsfunktionen vi är ute efter är en fullständig isolering av avfallet så att kopparkapslarna inte ska skadas eller brista. Skulle det ändå ske finns det en sekundär säkerhet och det är att fördröja utsläppet och uttransporten av radionuklider till den ovanliggande biosfären.

Några korta ord hur man lägger upp en sån här säkerhetsanalys och metodiken, det kan man ägna ett helt seminarium åt men jag ska visa en bild. Huvudfrågan vi har att svara på är om förvarets utveckling över tid leder till doser eller risker som överskrider de givna gränser som vi fått från myndigheterna.

Förenklat kan man säga att det viktigaste är att den årliga risken för individer som lever i förvarets närhet att drabbas av dödlig cancer (jag sätter det inom citationstecken, det kan specificeras mera) ska vara mindre än en på miljonen. Räknar man om det till stråldos så svarar det mot att förvaret får tillföra ung 1% av den bakgrundsstrålning som alltid finns och inte mer än så. Det sätter kravbilderna på kartan.

Huvudfrågan är då, leder förvarets utveckling över tid till att man klarar den här gränsen eller inte, och vad styrs utvecklingen av? För det första måste man bekymra sig över hur initialtillståndet ser ut, hur ser förvaret ut från början? Hur ser berget ut, hur ser hela spricksystemet ut i berget, hur rör sig grundvattnet i berget idag? Det finns dimensioner och mått på kapslarna - hur väl vi har lyckats tillverka dem enligt de specifikationer som finns givna? Hur ser det ut från början och vad har vi för kvaliteter på förvaret från början?

Det är den första stora frågan. Nästa är ju att det händer saker på sikt. Det finns ett helt system av kopplingar som vi kan kalla för interna processer i det här förvarssystemet som sker i bränslet som avger strålning som värmer upp berget och kapsel och buffert. Kapseln kommer att utsättas för korrosionsangrepp - även om det är en långsam process så finns den alltid där. Bufferten kommer att fyllas med vatten och den kommer att svälla och utöva tryck på sin omgivning. Det händer saker i berget och på ytan, i biosfären där förändringstakten är mycket högre än på 500 m djup som förvaret ligger på.

Hela det här systemet utsätts också för extern påverkan. Det mest dramatiska är kommande istider och vad det har för effekter på djupet? Eftersom vi pratar om sådana enorma tidsperioder som också tillhör kravbilden. Vi pratar om perioder på upp till 1 miljon år som vi i alla fall måste göra bedömningar om hur det här systemet fungerar. Det är självklart att vi inte kan veta allt om detta utan vi kommer att behöva hantera osäkerhetsaspekter också. Vi vet inte hur klimatet kommer att utvecklas, vi vet inte ens hur det kommer att utvecklas på 100 års sikt. Vi måste sätta gränser, vad är det värsta som kan hända?

Vad händer om utvecklingen tar den här vägen - det är en stor och viktig komponent av metodiken av varje säkerhetsanalys att ha ett strukturerat sätt att ta hand om alla dessa osäkerheter. Om vi då tittar på temat för dagen, jordskalv, och frågan hur kan kapslar skadas, vi var intresserade av den primära säkerhetsfunktionen att de inte skadas. Om de skadas så leder det till att kopparkärlens någonstans får en genomgående skada så att kapselns inre blir tillgängligt för grundvatten. Och om man någonstans har en genomgående skada så att kapselns inre blir tillgängligt för grundvatten och andra skador. I huvudsak kan sådana saker orsakas av korrosionsangrepp på kapseln. För höga tryck som verkar på kapseln och särskilt under en istid kan det här vara aktuellt.

Rörelser i bergsprickor skulle kunna orsakas av stora jordskalv, det är därför vi har det här temat idag. Det här ägnar vi mycket energi åt i säkerhetsanalysen - vad gör vi då? Man skulle kunna bryta ner arbetet i en rad frågor. Först gäller det att ta reda på vilka typer av berg rörelser som kan skada kapslar. Hur utformar vi förvaret för att undvika såna rörelser? Hur väl vi lyckas med det måste vi kunna bedömas i säkerhetsanalysen.

Hur vanliga är de stora skalven som kan ställa till med skada nära förvaret? Om det nu är så att en kapsel brister, vad händer då egentligen, det var ju frågan som var uppe här före pausen. Om vi börjar med vilka typer av berg rörelser som kan tänkas skada kapslar så har jag här en bild på en kapsel med omgivande berg, en spricka och bufferten som omger kapseln. Vad är vi då rädda för? Jo det är om vi får en s k skjuvrörelse i den här sprickan. Berget under sprickan rör sig åt ett håll och den övre delen åt ett annat håll. Då får man en påfrestning på kapseln.

Bufferten dämpar berg rörelserna och kapselns gjutjärnsinsats ger mekanisk hållfasthet. Hela det här förloppet om man skulle få en rörelse i en spricka som omger ett deponeringshåll kan man studera modellmässigt som vi har gjort. Resultatet av de studierna är att skalv som ger större rörelser än 20 cm i ett deponeringshåll skulle kunna skada kapseln. Då antar vi försiktigt att alla rörelser som är större än 10 cm skadar kapseln.

Hur undviker vi såna här rörelser? Den stora zonen där skalvet sker är så stor att man observerar den lätt. Att sätta en kapsel i en sån zon gör man inte. Men så har vi respekt-avstånden till de stora zonerna som kan hysa skalven. Vi håller oss på ett visst avstånd från dem och så undviker vi deponeringspositioner som korsas av långa sprickor. Det finns regler för det här som vi har pratat om.

Då kan vi undvika skador från stora skalv. Hur väl lyckas vi med det detta? Ni som följer utvecklingen vet att det är en utmaning att få ett bra grepp om hela sprickbildning i berget. De stora zonerna kan man hitta och vara säker på vart de går men de mindre kommer vi aldrig att riktigt se hela bilden av. För de stora sprickorna som skär deponeringspositionen, alltså större än 150 eller 300 m i diameter, har vi en statistisk uppfattning hur vanliga de är. Därför kan vi räkna ut hur vanligt det är att om man deponerar blint ut i det här berget, men undviker de stora zonerna, hur vanligt är det att en kapsel verkligen skärs av en sån här stor

spricka med hjälp av den statistik vi känner till. Det är ungefär 1% av alla deponeringshål. Det beror på vilken plats man är på men det är i alla fall ett riktmärke.

Men de stora sprickorna har vissa kännetecken och då räknar vi med att när vi är nere i berget och deponerar kapslar kan vi känna igen dem och välja bort deponeringshål som skärs med såna kännetecken. Vi räknar med att hitta och välja bort mer än 90%. Så goda kunskaper har vi i alla fall.

Man kan göra andra saker också. När man ska deponera kapslar bygger man en tunnel och borrar hål i sulan av tunneln. Då kan vi utnyttja sprickobservationer i den ovanliggande tunneln så vi ser hur sprickorna går där och extrapolera de observationerna och skaffa oss en uppfattning om hur de går och undvika såna deponeringspositioner. Det tittar vi också på och det är ett statistiskt problem, då bör man kunna ta bort ytterligare 90% av alla stora sprickor. Därför blir bedömningen att inte en enda av kapslarna av de 4500 som vi vill lägga i förvaret, ska behöva vara placerat på ett sånt sätt att den kan skadas vid ett stort skalv.

Nästa fråga är hur vanliga är stora skalv nära förvaret? Det kan skattas statistiskt eller genom expertbedömningar och det har ni pratat mycket om. I genomsnitt mindre än 1 skalv större än magnitud 6 per 100 000 år i sprickzoner som är precis nära förvaret.

Vad händer om en kapsel trots allt skadas? Vi antar att ett skalv inträffar om 100 000 år och att en kapsel skadas så allvarligt att bränslet kommer i kontakt med bufferten. Vi kan inte räkna med att kapseln har en skyddande effekt längre. Eftersom det har rört sig i systemet och bufferten var från början 35 cm tjock kring kapseln har berget kommit närmare med 15 cm till följd av rörelsen. I den här sprickan som vi antar har korsat deponeringshålet och där rörelsen skett, antar vi att vi har ett kraftigt vattenflöde och att radionuklider inte bromsas när de transporteras i den här sprickan. Det illustrerar varför jordskalv är ett bekymmer i säkerhetsanalysen för ett skalv påverkar alla förvarets barriärer.

Då blev det en doskurva till slut av den här beräkningen och tiden går från 0 till 1 miljon år och det är en logaritmisk skala. Högst upp har vi nivån för bakgrundsstrålning. För ett basfall tänker vi oss att kapseln korroderar sönder så bara kapseln blir skadad. Skalvet som inträffade efter 100 000 år får en mer dramatisk konsekvens. Men det är ändå inte, ens med de här våldsamma antaganden, någon katastrof vi talar om.

Slutsatser; Jordskalv är en av ett fåtal tänkbara orsaker till kapselskador så därför måste vi bekymra oss mycket över det i säkerhetsanalysen, vilket vi också gör. Skalv av den storleken att kapslar kan skadas är mycket ovanliga också i ett 100 000 års perspektiv. Om det ändå skulle hända räknar vi med att någon av 4500 kapslar skulle kunna skadas. Men också då blir konsekvensen begränsad.

Till slut vill jag säga följande, och det är viktigt att hålla i huvudet under hela den här diskussionen. Om det nu skulle vara så att resultatet av analysen är färdig, tyder på att man har oönskade konsekvenser av jordskalv, har vi alltid möjligheten att göra kapseln starkare. Man kan göra gjutjärnsinsatsen tjockare och man kan göra bufferten tjockare.

### **En fråga från Leif Hägg;**

Vi har ju pratat vertikal och horisontell deposition, har det någon avgörande betydelse för sprickbildningen?

**Allan**

Nej, så avgörande betydelse har det inte. Alla siffror jag har talat om skulle bli lite annorlunda. Man kan säga att en majoritet av sprickorna är faktisk mer vertikala än horisontella och det betyder att om man tar en horisontell kapsel så har man en större sannolikhet att den skärs av spricksystemet.

**Nästa fråga, Åke och Bertil i arbetsgruppen;**

Vad händer med stråldosen om ett skalv inträffar tidigare än 100 000 år?

**Svar**

Här har vi 100 000 år och snabbt kommer man upp till en viss nivå sedan börjar det stiga mer och mer långsamt, så har det nått slutnivån efter 3 - 400 000 år. Om vi antar att skalvet inträffat tidigt så hade man fått en kurva som snabbt går upp för att sedan växa mot den här kurvan. Den hade inte gått lika långt upp. Vad som händer här över tid när saker och ting stiger lite mjukare är att de radionuklider som inte finns från början, växer in genom det radioaktiva sönderfallet som sker av olika kedjor av nuklider. Den radionuklid som dominerar dosen här heter radium 226 och den växer in efter storleksordningen 80 000 år. Som svar på din fråga – det hade inte blivit några större konsekvenser om jordskalvet inträffar tidigare.

**Nils-Axel**

I de säkerhetsanalyser som har gjorts fram till idag har input på skalven alltid varit enligt La Point. Nu när vi har fått SSI-rapporten, vad kommer ni att göra då? Kommer ni att det realistiska eller fortsätta med det gamla sophögsmaterialet?

**Allan Hedin**

Du har så konstigt språkbruk och hela din värdering av vetenskapssamhället är ju märklig. Raymond utvecklade det. La Points beräkningar kritiserade även SKB fast på andra grunder och fortsatte det arbetet. Det visade sig att det inte var så befogat att vara så kritiska som vi var för att hans beräkningar har vi kunnat bekräfta. De jordskalvsfrekvenser som La Point använde baseras på exakt samma metodik som Adams, som du högaktar, använde i SSIs expertbedömning. De frekvenserna som La Point fick fram då är 1/3 av de genomsnitt som expertbedömning fick fram, d v s 0,03 skalv per samma ytenhet på samma tidsperiod att jämföras med 0,1 skalv för expertbedömningen. Om man räknar om dina frekvenser, okritiskt, genom att acceptera samtliga påståenden så ligger de på faktor 30 större än expertbedömningens, nämligen 3 skalv per samma tidsenhet och ytenhet. Så skillnaden mellan dig och La Point är en faktor 10 - du har 10 gånger fler och han har 10 gånger färre och någon sophögssdiskussion vill jag inte ge mig in på.

Givet de osäkerheter som finns med att prediktera 1 miljon år framåt i tiden och med de osäkerheter som expertbedömningens medlemmar accentuerade på olika sätt i ett vetenskapsfält som är helt nytt och med metoder som nästan är helt oprövade så tycker jag att det är anmärkningsvärd likhet mellan experternas uppskattning av hur många skalv man kommer att få så långt fram i tiden, och det inkluderar Niklas bedömning.

-----

## **Virpi**

Nästa talare är Bo Strömberg; han är doktor i oorganisk kemi, jobbar på avdelningen för nukleär ickespridning och kärnavfallssäkerhet på SKI. Under senare år har han jobbat med metoder för säkerhetsanalys på en övergripande nivå och bland annat nu med att förbereda SKIs granskning av SR Can och SR Site.

## ***Bo Strömberg, SKI***

Jag jobbar på SKI och en av SKIs uppgifter är att granska SKBs arbete och jag har fått i uppgift att tala om kravbilden, hur vi granskar SKB. Jag kommer att prata väldigt lite om jordskalv för vi har ingen specifik kravbild som gäller jordskalv. Jag kommer att där så är möjligt att relatera till jordskalv men det jag säger kan lika gärna handla om korrosion eller radionuklidtransport.

Att vi tar fram föreskrifter och kravbilder är en liten del av vårt arbete på myndigheterna även om det är en mycket viktig del. Minst lika viktig är den granskning vi gör fortlöpande av SKB. Trots att jag inte har blivit ombedd att tala om det tänker jag gå in lite på det för jag tror att det kan vara intressant i det här sammanhanget.

Det kan vara farligt att isolera, att bara prata om ett specifikt problem, alltså jordskalv, och jag tror det är viktigt att vi för in begreppet säkerhetsanalys. Vi försöker se helheten. Säkerhetsanalysen som Allan var inne på har också betydelse för utformningen av förvaret. Kan vi bygga ett lika bra förvar som analysen förutsätter? Det vill jag säga något om. Innehållet i den här presentationen är delvis preliminär.

Ett av de viktigaste instrumenten att granska SKB är FUD programmen som SKB är ålagda att ta fram enligt kärntekniklagen vart tredje år. Där lämnar SKI och KASAM yttrande till regeringen. Det är ett stort antal remissinstanser som gör ett förträffligt arbete att granska SKB. Vi har fått in många remissvar som handlar om jordskalv.

Vi jobbar även med nationella och internationella oberoende experter i en pågående granskning som är oberoende av FUD programmet. Det är framför allt granskningar av platsundersökningar och arbeten om tekniska barriärer.

Vi har tittat på vissa problem kopplade till jordskalv, grävningar som görs för att detektera postglaciala rörelser. Vad gäller kapseln så måste SKB visa att den håller måttet. Vad tål den och hur bra är SKBs analyser? Så har vi granskning av hela säkerhetsanalyserna och den senaste gången vi gjorde det var för SR-97. Sedan dess har det hänt mycket och där är vi beroende av bra experter och flitiga remissinstanser.

Vi backar tillbaka lite till SR-97, Mörner framför kritik att SKB inte lägger in den kunskap som finns om stora skalv i samband med isavsmältningen, det är inget nytt. Det är enligt SGU inte bevisat att unga rörelser i berggrunden överallt följt äldre svaghetszoner. Det finns ett behov av en mer stringent uttömmande definition om vad SKB avser med respektavstånd. SGU konstaterar också att det inte är självklart att alla sprickzoner och presumtiva framtida rörelsezoner kan upptäckas. Myndigheterna anser att samband mellan islaster och rörelser i berggrunden borde analyseras utförligare. Kapselberäkningar behöver förfinas. Det här låter som en omfattande kritik mot SKB men jag tror att vi för rättvisans skull ska ta upp vad SKB själva sa. Då sa man att SKB ser ett utvecklingsbehov för metoderna att uppskatta

sannolikheten för jordskalv och att SR-97 endast är ett första steg att ta fram en kvantitativ analys av jordskalvsscenarioer. Jag ser fram mot att granska SR Can och jag tror att vi då kommer att se frukterna av det arbete som SKB har lagt ner och vi får bedöma vad vi tycker om det när vi får säkerhetsanalysen.

För att säga något om den kravbild som finns i form av fastställda föreskrifter så är det tre stycken som är relevanta för området. Det är Föreskrifter om säkerhet i kärntekniska anläggningar och den kommer att vara aktuell om man bygger en inkapslingsanläggning och ett slutförvar. Den avser säkerheten under driften av anläggningen men också med vilken kvalitet arbetet bedrivs så att det motsvarar de krav som ställs på en kärnteknisk anläggning.

Vi har också en föreskrift om Mekaniska anordningar, den tillämpas främst på reaktor-säkerhetsområdet och vi tror att den innehåller mycket viktigt material för kapsel frågan, för kapseln är också en tryckbärande komponent. Och till slut har vi en Särskild föreskrift om slutförvaring av kärnämne och kärnavfall som jag kommer att diskutera senare.

Det finns olika moment i säkerhetsanalysen och det är viktigt att förstå att man utgår från en systembeskrivning, en detaljerad beskrivning av förvaret och allt som kan påverka det. Man väljer ut de viktigaste aspekterna och formulerar dem olika scenarier. Och det viktigaste scenarierna extraherar man ner till en konsekvensanalys.

Jag tror det är en utveckling som man kan se att man integrerar jordskalv på ett mer konkret sätt i säkerhetsanalysen. Vi som granskar en analys har ett antal problem framför oss och det första steget är att vi måste identifiera ofullständigheter, felaktigheter och svagheter i det material som SKB presenterar för oss. Det ligger nog i granskningsprocessens natur att oavsett hur bra SKB gör sin analys kommer vi alltid att hitta problem och svårigheter. Och då kommer det andra steget som är väldigt viktigt och det är att vi har verktyg och möjlighet att bedöma vilka av de identifierade problemen som är viktiga för långsiktig säkerhet och strålskydd. Då kan vi inte granska alla frågor på lika hög detaljeringsnivå utan vi måste välja ut ett antal kritiska granskningsfrågor, och vi måste bedöma om de antaganden som SKB gör har inverkan på de säkerhetsmarginaler som förutsetts och om de i slutändan har inverkan på risken.

Mer i detalj i SKIs slutförvarsföreskrifter så handlar de mycket om barriärer och barriärfunktioner i motsats till kärnkraftverk där vi kan inspektera barriärerna. Så pratar vi om passiva barriärer, vi kan inte på något sätt påverka förloppet när vi väl har förslutit förvaret. Därför måste det finnas en tålighet mot händelser och processer som påverkar dess funktion. Vi säger att barriärer kan ha olika funktioner att innesluta och förhindra spridningen av radioaktiva ämnen men det kan också handla om att fördröja spridningen av radioaktiva ämnen. Med andra ord har vi inga krav på att inneslutningen av radiumnuklider måste vara fullständig.

Det måste finnas fler barriärer och säkerheten måste upprätthållas trots enstaka brister i någon barriär. Det är en variant av multibarriärprincipen som används vid reaktorsäkerhetssammanhang att även om SKB skulle visa att det inte händer något med kapslarna så vill vi ändå se en analys på om kapslarna går sönder.

Vi vill att SKB, om de får ett tillstånd att bygga förvar, fortsätter att samla in ny kunskap och att om de upptäcker brister, ska det rapporteras till SKI. Platsen måste ha tillräckligt stabila och gynnsamma förhållanden så att förvaret fungerar som avsett. Vi har tidigare eftersökt att



SKB formulerar en säkerhetsstrategi. Däremot ska vi inte själva formulera en säkerhetsstrategi - vi ska inte skriva våra föreskrifter så att vi tar ett ansvar från SKB som enligt svensk lagstiftning ska ha det fulla ansvaret för förvaret.

Nu har vi fått en sådan strategi och det primära är att isolera bränslet och det sekundära att fördröja eventuella utsläpp. Då borde vi fokusera på de processer som kan störa isoleringen av bränslet. Men i slutändan, själva kravuppfyllelsen blir alltid en sammanvägning av sannolikheter för utsläpp d v s kapselbrott och konsekvenser om kapselbrott sker. Allan har redan varit inne på det.

En mycket viktig fråga är att vi kan inte bara titta på de här mekanismerna utan vi måste också ta reda på hur omgivningen påverkar kapseln och de degraderingsmekanismer som kapseln kan vara utsatt för. Vi kan ha en kemisk omvandling av bufferten så att den sedimenterar och blir styvare än vad säkerhetsanalysen förutsätter. Vi kan ha en erosion av bufferten, vi skulle kunna tänka oss en frysning av förvaret med permafrost o s v. Alla dessa frågor är sådana att vi måste gå tillbaka och titta på dem när vi granskar men nyckelfrågan är, hur många kapslar som påverkas och när.

Om vi tittar på konsekvenser av utsläpp så är bränsleupplösningen mycket viktig för vad som händer om vi lägger bränslet direkt i grundvattnet, mycket värre än så kan det inte bli. Om man alls kan visa att bränsleupplösningen är mycket långsam då avlastar det bevisbördan att kapseln måste förbli tät.

Sen sker en rad processer, radionuklider läcker ut från bränslet, tar sig igenom en skadad kapsel och kommer ut i bufferten och berget och kommer ut i biosfären. Även i detta fall kan skalven påverka denna del av analysen, det kan bildas nya transportvägar i berget, det finns frågor om seismisk pumpning som olika remissinstanser har påpekat för oss.

Om vi tittar på själva utformningen av barriärerna i förvaret föreskriver SKIs föreskrifter att olika typer av scenarier ska analyseras. Vi har ett huvudscenario som ska inkludera troliga händelser och trolig utveckling av förvaret. Det är händelser som inte visas har låg sannolikhet. Vi vill ha mindre sannolika scenarier som inkluderar en utvärdering av scenariosäkerheter och mindre sannolika händelser. Och slutligen restsценarier för att belysa barriärfunktioner. Och då vill vi att de viktigaste scenarierna ska bilda ett underlag för ett antal konstitutionsstyrande fall. Jordskalv av viss magnitud med bergrörelser kan bli styrande för kraven på barriärernas konstruktion. Ett jordskalv med en viss magnitud och på ett visst avstånd från förvaret, kan man definiera som en konstruktionsstyrande händelse, d v s det här ska den tekniska konstruktionen klara. Då kan vi vara säkra på att de mindre rörelserna i berget inte underminerar grunderna för kapselns integritet. Med andra ord vill vi ha en tydlig redovisning vad barriärerna ska tåla och vilken funktion de ska upprätthålla under olika betingelser.

Vi har en granskning av kapselns egenskaper som vi har påbörjat och som bedrivs främst av SKIs hållfasthetsexperten och här har vi från tidigare SKB-rapport en övergripande konstruktionsförutsättning att kapseln ska vara mekaniskt stabil och insatsen ska motstå mekaniska belastningar såsom bergrörelser längs sprickor och sprickbildning. Det låter ju som en bra start att man har definierat vad kapseln ska göra, men vi vill ha en mer förfinad specifikation av kraven så vi kan bedöma kravuppfyllelse. Här ingår en granskning av konstruktionsförutsättningarna, belastningsunderlaget, vilka jordbävningsslaster kan förekomma - vi vill ha hållfasthetsanalyser för att verifiera och få fram vad man kan kalla en

fastställd konstruktion. Saken är ju inte slut med det utan man måste visa att man kan tillverka det här, ha bra leverantörer, bra metoder för förslutning och provning av kapslar. Kvaliteten kommer att vara kritisk, hur väl man kan hantera kvalitetsproblem kommer att vara kritiskt för hur bra man lyckas med det. Här kommer SKIs föreskrift om Mekaniska anordningar säkert att vara tillämpbar. Vad gäller kapseln så har vi mycket gratis i och med att de här frågorna arbetas mer med på kärnkraftverken. När det gäller bufferten så är den en mer främmande fågel, här känner sig inte hållfasthetsfolket igen sig, det här är en helt annan komponent som inte finns i andra kärntekniska anläggningar.

De övergripande kraven är att buffertens deformerbarhet ska medföra att mindre berg-rörelser inte skadar kapseln. Vi kommer att titta på materialval och tillverkning, optimering av buffertens egenskaper och även titta på processer som skulle kunna försämra de här egenskaperna så att bufferten inte är så bra som SKB förutsätter.

Den svåraste frågan här att granska platsens egenskaper. Där finns också övergripande konstruktionsförutsättningar där deponering inte får ske nära regionala och större lokala sprickzoner. Men hur ska man kunna tillämpa det i praktiken? Där vill vi ha en redovisning av de procedurer som SKB föreslår.

Vi ser att granskningen av SR Can kommer att ge mycket information och i och med att granskningen av SR Can inte är skarp så ger det oss ett bra underlag för framtiden.

Jag ska bara säga något om planeringen av granskningen av SR Can. Rapporten kommer att publiceras i oktober 2006. Den kommer vi att granska i knappt ett år. Vi har valt ut tre perspektiv som vi särskilt ska titta på, 1) metoderna för säkerhetsanalys, 2) hur tekniska barriärer representeras och 3) hanteringen av den stora mängd platsspecifika data som nu kommit fram. Vad gäller SR Site så är vår planering ännu inte påbörjad men vi vet att det blir en längre granskningsprocess, minst två år. Det kan vara så att när vi granskar så kommer vi att begära kompletteringar av SKB, vi kanske behöver förlänga tiden och om myndigheterna vill rekommendera regeringen att bevilja SKB att bygga anläggningarna så kommer vi sannolikt att föreslå villkor för detta.

Och då vill jag bara sammanfatta kort vad jag ville ha sagt här. Jordskalvsfrågan är på intet sätt ny - den har förekommit i nästan alla tidigare granskningar men det är ett område under stor utveckling. Vi får en första möjlighet att bedöma arbetet i en granskning av SR Can som kommer att börja i oktober 2006. Vi har en generell kravbild kopplad till analys av långsiktig säkerhet och tillverkning av komponenter för ett slutförvar i drift. Vi är däremot väldigt försiktiga att komma med detaljerade krav kopplade till specifika problem. Jordskalv kanske nämns som exempel i den här slutförvarsföreskriften. Vi jobbar med att bygga upp kompetens både hos oss själva och de experter vi använder oss av vid olika projekt och aktiviteter.

### **Virpi**

Vi har bara tid för en fråga.

### **Roland Davidsson**

Du pratar om utsläppen vid ett möjligt kapselhaveri, hur stora kan de tänkbara utsläppen vara i förhållande till de utsläpp vi har under driftförhållanden. Vi har ju idag Europas högsta utsläpp i Östersjön från kärnkraftverk. Hur stort blir utsläppet vid ett kapselbrott i ett slutförvar? Större eller mindre?

**Svar**

Frågan om utsläpp under drift är inget jag pysslar med utan det är SSI.

-----

**Virpi**

Nästa talare är Björn Dverstorp. Han är doktor i hydrogeologi och myndighetsspecialist med inriktning på riskanalyser för geologiska slutförvar på SSI. Han jobbar nu med att granska SKBs program för slutförvar med särskilt ansvar för säkerhets- och riskanalyser.

***Björn Dverstorp, SSI***

Jag ska säga några ord om SSIs kravbild när det gäller slutförvar. Kraven återfinns i SSIs föreskrifter och lite mer allmän vägledning finns i de s k Allmänna råden. Man kan säga att kraven är allmänt hållna, de måste täcka in allt som kan påverka ett slutförvar, hela riskanalysen. Men jag ska försöka plocka ut de krav som är lite mer relevanta för jordskalven. För den som intresserad av att läsa mer om SSIs kravbild finns det i entrén kopior på Allmänna råd och en artikel i tidningens SSIs Strålskyddsnytt som skriver på ett mer begripligt sätt vad kraven innebär.

Först en sammanfattning av SSIs viktigaste krav på slutförvaret, sedan lite om risk och riskuppfattning och vad det är och nästa avsnitt gäller SSIs vägledning när det gäller hur man ska redovisa riskanalyser och lite vad det kan betyda för just jordskalv. Ett annat krav är att SKB ska ta hänsyn till bästa möjliga teknik och vad det nu kan innebära för just jordskalv och jag avslutar med en liten sammanfattning.

Föreskriftskraven består av tre hörnstenar varav den första är ett hälsoskyddskriterium som uttrycks i form av risk. Föreskrifterna säger att ett slutförvar ska konstrueras så att den årliga risken för radiologiska skador såsom cancer, dödlig eller icke dödlig, genetiska skador o s v. ska understiga en på miljonen. Det gäller för de människor som utsätts för den största risken från slutförvaret.

Vi har också krav på optimering och bästa möjliga teknik och det innebär att varje steg i utvecklingen av slutförvaret ska göras så bra som möjligt. Det vill säga att man ska välja de tekniska lösningar som minimerar risken och det gäller utformningen av förvaret, alltså metoder och val av platser.

Slutligen är det ett föreskriftskrav att SKB ska redovisa hur slutförvaret påverkar miljön och man ska sträva efter att minimera miljöpåverkan.

Begreppet risk, som en tumregel kan man säga att samhället accepterar inte aktiviteter med en årlig risk för att dö som överstiger 1 på 1000. För att ge lite perspektiv vill jag nämna några samhällseliga risker. Risken att omkomma i en flygolycka är låg, mindre än 1 på miljonen. För en person som flyger mycket kan risken öka en aning, kanske 1 på 100 000. På samma nivå hittar vi risken att dö för ett blixtnedslag. Risken att omkomma i trafiken är betydligt högre. Där dör ungefär 500 personer per år, man brukar säga att man har en risknivå som är 1 på 10 000 och en som är 1 på 100 000.

Olyckor i hemmet är en ganska hög risk där risknivån är 1 på 10 000. Tittar man på alla typer av cancersjukdomar så ligger man strax över 1 på 1000. En rökare som röker ett paket om

dagen kommer över den nivå som samhället accepterar, 4 på 1000. Här har samhället påbörjat en del åtgärder, man har förbjudit rökning i offentliga lokaler och på krogen och det finns begränsningar för reklam.

SSIs riskkriterium då, är 1 på miljonen för att ge perspektiv på det här. Verksamheterna som finns med här är saker som pågår idag och som vi har kontroll över. Tycker vi det blir besvärligt kan vi vidta åtgärder. Ett slutförvar kommer att finnas där i 100 000-tals år.

Hur människor uppfattar risk påverkas av ett stort antal faktorer, här är några. Finns det för- eller nackdelar med aktiviteten, man kan vara beredd att ta större risker om man ser något positivt, om man ser någon nytta med aktiviteten, t ex att genomgå ett kirurgiskt ingrepp om man kan bli botad. Grad av frivillighet och kontroll är andra faktorer. Konsekvenser och storlek är viktiga, många tycker det är otäckt att flyga eftersom det blir en mycket dramatisk händelse om det kraschar. Detta trots att sannolikheten är väldigt låg. Det innebär att olika personer lägger olika betydelser på ordet risk. En del fokuserar på sannolikheten att något ovälkommet inträffar, hur ofta det händer, andra tittar mer på konsekvensen, hur farliga följderna blir om det händer något. För en del är det bara något som känns farligt och otäckt utan att man vet så mycket om riskerna.

För att bedöma riskerna för slutförvar behöver vi en metod för att kunna skilja på upplevd risk och faktisk risk. Vi behöver ett gemensamt språkbruk så att vi vet vad vi pratar om. Den metoden kallas riskanalys och den ger ett stöd för beslutsfattande genom att svara på tre frågor; Vad är det som kan gå fel? Vad är det som leder till konsekvenser, det brukar vi kalla scenarier, och vi måste också få svar på frågan vad blir konsekvenserna om det går fel. För ett slutförvar är vi intresserade av i första hand de radiologiska skadorna. Slutligen måste vi veta sannolikheterna för att det inträffar.

Den definition av risk som man normalt använder och som även används i SSIs föreskrifter är att risken ges av att multiplicera sannolikheten med konsekvensen. Sannolikheten består av två delar, en del som har att göra med sannolikheten att det blir en stråldos. Den andra delen har att göra med sannolikheten att man får en skada, en cancer eller vad det kan vara, här förlitar vi oss på Internationella Strålskyddskommissionens rekommendationer som baseras på data från främst Hiroshima och Nagasakibomberna,

Vad innebär en riskanalys för ett slutförvar? Vi har hört lite olika begrepp, Bosse och Allan pratade om säkerhetsanalyser. Vad är det för skillnad? Egentligen är det ingen skillnad, allt som ingår i en säkerhetsanalys måste ingå i en riskanalys. Den enda skillnaden är att det inte räcker med att beräkna stråldos, anta att något går snett, man måste väga in sannolikheten också i slutändan.

Vad är det som går fel när det börjar läcka ut radionuklider från slutförvaret? Det kallar vi scenarierna. Nästa steg är att titta på vad blir konsekvenserna av det här läckaget. Då måste man börja analysera hur radionukliderna läcker ut genom de tekniska barriärerna. Hur de förs vidare i grundvattnet, i sprickorna och kommer upp i den mänskliga miljön och hur de i sin tur sprids i jord och vatten för att i slutändan kunna beräkna en stråldos till människor.

För att beräkna risk måste man uppskatta en sannolikhet för det här scenariot. Det finns många olika händelseprocesser som gör att det kan börja läcka från ett slutförvar. För att få den totala risken från slutförvaret måste man summera riskerna från alla scenarier som man analyserat. I SSIs vägledning om allmänna råd om hur riskanalyser ska redovisas så säger vi

att analysen bör baseras på ett antal möjliga klimatutvecklingar som tillsammans illustrerar rimligt förutsägbara klimatrelaterade störningars påverkan på slutförvaret. För ett kärnbränsleförvar som är farligt under väldigt långt tid så säger vi att det ska ingå en analys av en hel glaciationscykel eller minst 100 000 år.

Eftersom det är omöjligt att spekulera i sannolikheter för framtida klimat så säger vi att SKB ska visa att slutförvaret ska tåla samtliga de relaterade klimatutvecklingarna. Om vi går in på de riktigt långa tiderna efter flera upprepade glaciationer, bortom 100 000, säger vi att SKB ska utsträcka analysen så länge som den ger meningsfull information som kan användas för att förbättra slutförvaret. Kanske konstruera om barriärerna eller justera respektavstånden, eller vad det kan vara.

För de långa tiderna är det osäkert hur det ser ut i den mänskliga miljön, hur människor lever osv. Den informationen måste man ha för att kunna beräkna en risk så därför blir beräkningarna för de här långa tiderna ett trubbigt instrument för att bedöma om slutförvaret är tillräckligt bra. SKB ska fokusera på att beskriva hur barriärernas funktion utvecklas långsiktigt och hur de stora störningarna påverkar slutförvarets funktion. Det kan vara upprepade glaciationer olika typer av jordskalv.

Om vi tittar mer specifikt på SSIs bedömning vad gäller jordskalv ville vi se en systematisk genomgång av vad som kan hända, vad det finns för typer av jordskalv och hur de bildas. Man ska visa att man har en vetenskaplig förståelse hur jordskalv kan påverka berget i slutförvaret. SKB bör också kunna motivera hur man kommit fram till sannolikheterna för jordskalven, alltså alla de sannolikheter som Allan sedan kommer att använda i sin riskanalys. Här kan man se att det finns flera kompletterande argument: extrapolering från idag kända jordskalvsdata, analyser av geologiska spår av tidigare skalv som bland annat Mörner har pratat om, och att samla ihop en grupp experter och ha en formell systematisk utfrågning.

Sedan behöver SKB också göra olika typer av analyser och modellberäkningar för att illustrera konsekvenser av skalven och för att kunna beräkna stråldoser och risk. Det är viktigt att komma ihåg att riskanalysen inte kan ge några exakta svar på vad som händer i framtiden. Riskanalysen ger ett underlag för beslut och för att kunna bedöma trovärdigheten i SKBs bedömning är det viktigt att SKB på ett tydligt och begripligt sätt redovisar vilka osäkerheter som finns i antaganden, modeller och data osv.

Tanken med den här bilden är att försöka visa hur sannolikheter och konsekvenser hänger ihop med SSIs riskkriterium. Ett förenklat exempel, jag utgår från konstant sannolikhet i tid det händer ett skalv, risken för skalv är störst när inlandsisen drar sig tillbaka. Låt oss anta att vi har den här typen av skalv. Det är en viss sannolikhet att det händer varje år, vi måste komma ihåg att det här diagrammet visar bara risken för jordskalv. Många andra saker som kan påverka slutförvaret måste man lägga till det här. Men nu har vi jordskalvet och om vi tittar på den här axeln så har vi den årliga sannolikheten för att skalvet inträffar. Ligger vi här uppe på 1 så inträffar det ett skalv per år och går vi ner i skalan till tid minus 6 är det 1 på miljonen, då hamnar vi på den frekvens som experterna uppskattat, dvs 0,1 skalv på 100 000 år. Här nere på den axeln har vi den stråldos som skalvet ger upphov till. Här har vi ritat in risknivån som finns i SSIs krav, 1 på miljonen. De kombinationer av stråldoser och sannolikheter som ligger ovanför ger en oacceptabel risk och det som ligger under linjen är acceptabel risk.

Jag vill ge två exempel, låt oss anta att vi har ett skalv varje år. Vad skulle vara en acceptabel konsekvens av det? Hur mycket stråldos skulle de kunna ge upphov till? Då får vi gå fram till vår riskgräns och läsa av och det blir 0,014 megasievert. Det säger kanske inte mycket men det är 1 hundradel av den bakgrundsstrålning som vi har runt omkring oss idag.

Ett annat extremfall är att vi har ett skalv som ställer till med dödliga skador för dem som bor i närheten av slutförvaret. Då måste vi upp på nivåer på 1000-tals megasievert. Vad motsvarar det då för en acceptabel gräns för att det inträffar. Då får vi gå upp till vår risknivå och då hamnar vi på tio minus 6, alltså den siffran som expertgruppen kom fram till. Men kom ihåg att detta är bara jordskalv och samma sannolikhet hela tiden. Om sannolikheten är större under en kortare period blir det tuffare krav.

I förra exemplet utgick jag från att vi inte vet när i tiden skalvet inträffar. Vi vet bara att det är en årlig sannolikhet att den inträffar. Bilden är komplicerad men jag ska visa att det spelar roll om vi anser att vi vet när skalvet inträffar eller att vi inte vet det. Det kan bli olika uppskattningar. Låt oss anta att vi vet att under tiden efter förslutning fram till 100 000 år kommer det att inträffa ett skalv. I ena fallet vet vi att det inträffar om 30 000 år, då inträffar skalvet och det läcker ut radionuklider och det ger upphov till en stråldos som ser ut så här i tiden. I det andra fallet så säger vi, ja vi vet att det händer ett skalv någon gång mellan 0 och 100 000 år men inte när det inträffar. I båda fallen vet vi att skalvet kommer att ge upphov till oacceptabla stråldoser till någon människa. Det kan man tycka att det är samma riskuppskattning på de här två fallen men det är det inte alltid, och det beror på det som kallas riskutspädning.

Exempel; Vi vet exakt när skalvet inträffar för att beräkna risken för en person som råkar leva då samtidigt med skalvet och ger de största doserna. Då ska vi multiplicera sannolikhet med stråldos eftersom vi säger att det inträffar så är sannolikheten 1.

I det andra fallet vet man inte när skalvet inträffar så vad gör man då? Jo, då tar man till statistiska beräkningar som innebär att man gör många beräkningar och i varje beräkning slumpar man ut en tidpunkt när skalvet inträffar. Nu har vi ett antal beräkningar och för att beräkna en medelrisk för personerna som lever vid de här tillfällena så måste man ta medelvärdet av dosbidraget från samtliga beräkningsfall. Medelrisken kommer att bli betydligt lägre jämfört med om vi antar att vi vet när skalvet inträffar. Det här gapet är det vi kallar riskutspädning och det är ett problem som vi uppmärksammat i våra föreskrifter och vi har sagt att om det nu är så att man kan misstänka att man har de här problemen i beräkningarna så ska SKB illustrera konsekvensen av att ha ett skalv vid olika tidpunkter. Låt säga 10 000, 50 000 och 100 000 år.

Jag vill nämna lite om det andra kravet, bästa möjliga teknik. Som jag nämnt tidigare kommer riskanalysen aldrig att ge ett absolut svar på om slutförvaret är tillräckligt bra. Det kommer alltid att finnas osäkerheter om klimat och hur man extrapolerar data och sånt 10 000 tals år i framtiden. Så därför är kravet att SKB ska sträva att göra förvaret så bra som möjligt, ett kompletterande krav till riskkriteriet. Det innebär i praktiken att SKB i varje steg av utvecklingen ska välja de tekniska lösningar som minimerar risken att det över huvud taget läcker ut något från slutförvaret. Naturligtvis finns det begränsningar och förbehåll, det får inte bli orimliga kostnader. Samhället sätter naturligtvis ramar för slutförvarets kostnader. Vad betyder det här kravet mer konkret för jordskalv? SKB ska kunna visa att de har värderat de tillgängliga platserna under sitt arbete med hänsyn till sannolikhet för jordskalv. Det kanske inte är några skillnader av platserna men då ska det framgå. SKB ska också visa att

man har beaktat möjligheterna att minimera konsekvenserna av jordskalv i utformningen av slutförvaret.

#### Sammanfattning

SSI anser inte att jordskalv kan bedömas som en isolerad fråga. Riskanalysen ger oss ett verktyg för att bedöma betydelsen av jordskalv men naturligtvis många andra faktorer som kan påverka slutförvarets skyddsförmåga. SSIs riskkriterium ger ett kvantitativt mått för att avgöra om slutförvaret är tillräckligt bra – men problemet är då att riskanalysen inte ger några absoluta svar - därför har vi kompletterande krav.

## Utfrågning. Moderator: Göran Skytte

### Göran Skytte

I första delen har jag fått förmånen att fråga panelen som tidigare har framträtt här. Vi kommer att se en mycket klar och maskulin samling – det är ingen cat walk.

Jag är alltså på en medborgares nivå här, det jag har lärt mig om detta, har jag lärt mig under de här nio timmarna. Det speciella med oss journalister är ju att vi skäms inte ett dugg för de dumma frågor vi ställer, vi lever på det. Därefter får publiken ställa frågor.

Jag vill hälsa alla paneldeltagare välkomna och ni får placera er precis hur ni vill. Jag ljög inte när jag sa att det var en manlig samling. Jag är enväldig och bestämmer allt.

Rubriken är alltså Jordskalv i slutförvaret för kärnavfall – sedan kan man lägga till, för det ligger underförstått, före, efter och under en istid. En bra idé är att ta fasta på vad som står i rubriken av vår sammankomst. Här förekommer flera begrepp som jag vill ägna inledningen åt och det första ordet är istid. Jag såg i tidningen idag att begreppet i sig väcker intresse hos en journalist. Så jag gör det till mitt första ämne.

Jag vill veta mer om istid. Vi har talat om tre istider, hur går det till när vi får istider och hur ser det ut?

### Svar

Istider är ett begrepp som betyder att is täcker områden som normalt inte är täckta. Sedan man har förstått att iskappan har varit lika tjock som den på Grönland, upp till flera km. Sedan har vi med ny teknik sett att det varit en väldig massa under de sista 2,5 miljoner åren. De är styrda av de astronomiska variablerna, hur jorden och solen förhåller sig till varandra. Därför kan man räkna med det in i framtiden.

### Skytte

Hur går det till, den första, andra och tredje gången, istiderna ser lite olika ut har jag förstått?

### Svar

Jag vill ge en annorlunda bild av istider för man anser att en istid är en längre cykel när temperaturen är väldigt låg och man vet från borringarna i Grönland genom isen och i Antarktis har man fått bra kunskaper om temperaturen bakåt i tiden. Vi har långa cykler med väldigt låg temperatur, kanske 100 000 år, och så blir det varmare i 20 000 år, sedan har det blivit kallare igen och under de här tiderna har inte hela området varit täckt av is utan det har varierat. Det har kommit is som har dragit sig tillbaks, och kommit tillbaks ännu större, och man går från mindre isar i början till större i slutet. För 20 000 år sedan hade vi maximal storlek på isen i Skandinavien och sedan smälte den hastigt bort.

### Skytte

Den första istiden som kommer om 5 000 år, i övermorgon, hur ser den ut?



**Svar**

Det börjar långt upp, kanske i nordöstra Sibirien, man har varm och fuktig luft som förs över norra Skandinavien och kommer till Sibirien, där är det kallt och då regnar det och sedan blir det snö och isen växer till om temperaturen sjunker och klimatet blir sämre så hinner inte snön smälta på sommaren och det blir mer och mer is. Då byggs det upp mer is. Den påverkar hela klimatet kanske på norra delen klotet med hjälp av solcyklerna.

**Skytte**

Men det här går ju inte jättefort, det inträffar inte över december och januari. Hur lång tid tar det?

**Svar**

Man är ganska övertygad nu när man sett temperaturvariationer i isarna att det kan gå väldigt fort om det blir kallt. Förr trodde man att nästa istid dröjer många tusen år men nu säger man att en istid skulle kunna bli under vår levnad. Då handlar det om att temperaturen går ner men innan isen har blivit stor och tjock tar det många tusen år.

**Skytte**

Vi kan alltså räkna med att Stockholm kommer att utplånas?

**Svar**

Det kommer att bli kallt, det är redan kallt där. Jag kommer från Danmark men är det permafrost då är det väldigt kallt.

**Skytte**

Ok, då kommer det att utplåna Köpenhamn också?

**Svar**

Inom en period på 100 000 år är det klart att isen kommer att dra ner någon stans där den var för 20 000 år sedan och då betyder det att Stockholm ligger under isen, det som finns kvar av Stockholm, blir pulver.

**Skytte**

I Köpenhamn blir det bara Tuborg kvar, väl kyld.

**Svar**

Moskva är borta? Inte nödvändigtvis, det ligger mer i sydöst.

**Svar**

Det är ruggiga perspektiv, kommer det att hända inom 5 000 år för 5 000 år är kort tid. Även i mänsklighetens historia. Vi är tillbaka till när psaltaren skrevs t ex.

Är det här fullständigt odiskutabelt? Är alla vetenskapsmän överens om att det blir så här?

**Allan Hedin**

Det är inte odiskutabelt. Den största invändningen man kan ha mot bilden är växthuseffekten I säkerhetsanalysen av ett djupförvar måste man räkna med båda bilderna. Det är inte odiskutabelt men det kan inte uteslutas att det blir så som här målades upp.

**Skytte**

Vi har ju trott att det blir varmare.

**Nils Axel**

Det finns en annan synpunkt. Säg att isen den inte blir så stor, då kommer i stället permafrost. En backe som är täckt av permafrost, hur djupt en sån går vet vi inte. Vi vet att i Grönland är det 500 meter djupt. Men det är en annan faktor, det är inte nödvändigtvis bättre att ha permafrost än ett istäcke.

**Skytte**

Då har jag fått min vetgirighet stillad på denna punkt. Någon i publiken som vill ställa en fråga?

**Fråga**

Hur lång tid tar det att utveckla permafrost?

**Björn Lund**

Det tar lång tid, det krävs långa tidsrymder för att komma dithän. Det har gjorts modellering av permafrost just under istider och framför en isfront och det stämmer att man kan komma ner till 2-300 meter utan problem.

**Skytte**

Mitt andra frågekomplex handlar om ett annat ord som ligger under det ämne vi diskuterar, nämligen begreppet 100 000 år. Därför att det här handlar ju om tre istider och ett tidsspänn på 100 000 år. Varför ska vi över huvudtaget bry oss om det?

**Mikael Jensen**

Det skulle man kunna säga är en so-what-fråga. När vi har utvecklat allmänna råd med grupperna här och i Östhammar är det en fråga man får. Frågan är inte högt prioriterad så människor i gemen är mer intresserade av 1 000, år möjligen 10 000 år - sedan finns det inte mycket intresse.

**Skytte**

Ja, 1000 dagar kanske eller 1 000 timmar skulle jag säga är ett perspektiv som känns.

**Mikael**

Ja, men om du har barn och barnbarn, många är intresserade av det.

**Skytte**

Men Mikael, du säger att det här perspektivet är så långt att vi inte bryr oss.

**Mikael**

Jag kan säga både och. SKI försökte sätta gränsen vid 1 miljon år och då fick de bakläxa - det var folkstorm, men när vi har talat om 100 000 år för den kvantitativa beräkningsperioden så har vi fått rätt så negativa kommentarer, vi lurar folk in i en falsk säkerhet i beräkningen, vi tittar hellre på korta tider. Men kravet är att man ska göra en bedömning om 100 000 år. Vad regeringen sedan säger när de ska lämna sitt ställningstagande, det kan vi återkomma till.

**Bo Strömberg**

Förvaret ska vara byggt att hålla i 100 000 år. Det ska vara en permanent lösning på det här problemet. Det är så man har marknadsfört det. En annan aspekt är att avfallet innehåller radionuklider med lång halveringstid så det är farligt under lång tid. Det vet vi och vi vet hur mycket farligheten avtar.

**Skytte**

Då dök det upp en ny fråga i mitt huvud. Om vi stoppar in nytt avfall om 50 000 år så är det farligt i ytterligare 100 000 år om jag förstår det rätt.

**Bo**

Ja, absolut

**Nils Axel**

Jag tror att när vi tar den oändliga tidsrymden så är det ytterst respekten för mänskligheten och vår plats på jorden. Av samma skäl som vi steriliserar allt som man skickar ut i rymden för att inte kontaminera, ställa till med något som vi inte förstår idag, samma aspekt finns i det tror jag.

**Skytte**

Det finns alltså en moralisk aspekt på det hela. Är alla med om att det finns en moralisk aspekt som sträcker sig 100 000 år framåt i tiden för oss?

**Mikael**

Jag gillar inte att tala om etiska frågor för jag anser inte det finns någon etisk fråga som kan ha autonomi jämte demokrati. Riksdagen har redan gjort en bedömning. Problemet är att man säger slutförvar då ska det vara i evärdliga tider och vad är evärdliga tider. Om det är viktigt att veta hur saker och ting fungerar under 10 miljoner år då ska man inte syssla med kärnkraft för det blir inget bra.

**Skytte**

Varför?

**Mikael**

Ett skäl är att varje istid hyvlar bort ett antal meter och om 100 istider har vi hela avfalls-lagret nere i norra Tyskland. Man kan gå ännu längre, vill du ha upp till 10 miljarder år så blir solen en röd jätte och om 100 miljarder år försvinner begreppet tid. Man måste ta någon sorts rimlighetsbedömning.

**Skytte**

Nu har du helt plötsligt fått 100 000 år att låta som en kort tid, när du drog upp det till 100 miljarder år. Om vi håller oss till den korta/långa tiden 100 000 år och vad jag tror på och tänker på, i början av människans utveckling, vid början av tänkandets utveckling, vid början av vetenskapens utveckling, kommer vi att framstå som monkeys för människor som lever om 1 000 år eller om 2 000 år. Visst kommer väl det här avfallsproblemet att hanteras av vetenskapsmän fram i tiden på ett enkelt och fuffigt sätt.

**Björn från SSI**

Problemet är att avfallet i sig är väldigt farligt om det kommer i orätta händer, terrorist-attacker, det blir problem om det ligger på markytan och kommer det ut i naturen så är det

oerhört farligt för mänskligheten. Om vi går tillbaka till den etiska bilden så finns det ett etiskt ansvar för att vår generation som tagit del av den energin som vi utvunnit ur det här bränslet att vi kan erbjuda en lösning till kommande generationer. Det är det vi håller på med nu. Det finns idag ingen metod att oskadliggöra bränslet, skulle det komma i framtiden är det ju inte omöjligt att säga att vi inte behöver slutförvaret. Kommer det en ny möjlighet att oskadliggöra bränslet om 50 år, bra, då tar vi tillbaka det och använder det som vi vill. Men det får ju bli beslut för kommande generationer. Det viktiga är att vi erbjuder våra barn och barnbarn en lösning. Något som är ännu farligare än det använda bränslet är ju mänskligheten. Titta bara några 100 år bakåt i Sverige och Europa, det är världskrig och mycket oroligheter runt om. Hur kan vi vara säkra på att det inte är oroligt om 100 år? Vem ska då ta hand om avfallet. Jag tycker vi har en moralisk skyldighet att ta fram en lösning

### **Skytte**

Som gäller idag?

### **Björn**

Det bästa vi kan göra idag.

### **Skytte**

Finns det någon av er som alla är forskare som tror att det är den slutliga lösningen, det vi tänker idag?

### **Nils Axel**

Absolut inte, precis som du säger kanske framtiden kan lösa tekniska frågor men de kan inte stänga av jordbävningar, det är naturen själv, den får vi arbeta med och mitt förslag är att man får analysera, vilket har förvägrats, den här torra metoden. Där ligger det också i berget, det går inte att komma in med terrorister, det beror på hur man stänger det. Men där inne är det tillgängligt och då kan man, vilket är väldigt viktigt i en framtid, om vi löser transmutationstekniken, då får man energiutvinning. 96% av energin finns ju kvar och det kan vara räddningen när vårt system krackelerar.

### **Skytte**

Finns det några enda krafter såsom ni uppfattar det, som säger att nej vi gör inget idag för det kommer att lösa sig. Kan det leda till någon passivitet?

### **Mikael**

Riksdagen har redan tagit ställning till det här och krävt att man ska ha ett slutförvar. Vi ska nu göra något, så gott vi kan, ett förvar som varar under väldigt lång tid. Det är taget i Riksdagen och vi har fått uppdraget att granska förvaret.

### **Raymond**

När du först nämnde de 100 000 åren, så långt i framtiden, så anade jag att du fiskade efter något. Egentligen bryr vi oss, spelar det någon roll vad vi räknar fram, vi är ju ändå döda. För en gångs skull håller jag med Niklas.

Det finns en moralisk eller etisk aspekt i det här som vi inte får försumma. Vi som sitter här är professionella, vi får betalt för det, vi har en utbildning och vi förväntas lösa de uppgifter som våra arbetsgivare, myndigheter och regering säger åt oss att göra. Vi är forskare också, det är ingen slump att vi blev forskare, vi är nyfikna, det är en utmaning att göra mitt absolut yttersta för att uppfylla de krav som ställs på mig. Det är både moral och nyfikenhet.

100 000 år är en väldigt lång tid men det är olika för olika människor. Jag tror att geologer, präster och kanske astronomer har något gemensamt och det är kontemplerationen om evigheten, vi har skolats in i vad som är lång eller kort tid. 100 000 år för en berggrundsgeolog är ett ögonblick i jordens historia, den är faktiskt 4 000 miljoner år gammal.

### **Öivind Toverud, SKI**

Jag har en fråga till Niklas. DRD-förvaret som han tänker sig förlägga med 50 meters bergtäckning. Det är väl skyddat för intrång av terrorister. Vad ligger bakom den tankegången, att det ligger bättre skyddat för terrorister på 50 m än på 500 meter? Jag förstår inte tankegångarna!

### **Nils Axel**

Jag svarar enkelt på det. På ren svenska, skitsnack, för vad vi har sagt 50 m eller 300 m det beror på bergklacken. Hur vi gör det, det är du som ska betala så ge oss pengar så kan vi tala om hur vi ska designa det exakt.

### **Öivind**

Vi är ingen anslagsgivande myndighet ska du ha klart för dig!

### **Nils Axel**

Slutförvara eller vänta på nya tekniska lösningar för att ta hand om avfallet. Det ena utesluter inte det andra. Sverige är med och driver forskning på metoder för att oskadliggöra bränslet. Vi är med i EU och EU har ett mångmiljonprogram för att forska på såna metoder.

### **Nästa fråga**

Är det någon som tänker sig ett jordskalv före de här istiderna?

### **Ragnar Slunga**

Om man tänker sig att nästa istid dröjer flera tusen år så kommer vi säkert att ha magnitud 6 jordbävningar innan dess, utifrån den frekvens vi har av jordbävningar.

### **Nils Axel**

Det finns en sak i det material som jag lagt fram där jag har gjort magnitudberäkningar, och det har fått bra press nu. När det gäller istider, med precis samma metodik har jag ju kommit till ganska många jordbävningar de sista 5 000 åren, efter istiden, och där kommer man upp till att det luktar 7 på Richterskalan. Det kan man inte längre utesluta.

### **Skytte**

Vad säger ni andra om det?

### **Slunga**

Vi har en aktivitet som är sådan, säg att vi har ett magnitud 3 skalv per år. Då blir det ett magnitud 4 vart 10:e år, ett magnitud 5 vart 100:e år, ett magnitud 6 vart 1000:e år, ett magnitud 7 vart 10 000:e år, grovt. Det är all kunskap vi har av jordbävningar i olika regioner.

**Får jag svara?**

Jag kan inget om detta men det finns två typer av mekanismer, det ena har med isen att göra att den trycker ner och går tillbaka då blir det skalv, det andra har med manteln att göra. Något som kommer nerifrån som gör att det finns stora skalv även i Australien och där har det aldrig vart någon is.

**Skytte**

Om jag kommer ihåg dig rätt, så sa du att vi vet att det kommer att bli skalv med magnitud 6 i ett område på en radie om 100 km både i Forsmark och i Oskarshamn. Stämmer det?

**Björn Lund**

Ja, inom ett område som är så stort som har en radie på 100 km under en sån här lång tid så får man nästan säkert att det blir så. På en yta med 100 km radie så räknar vi med att få ungefär 10 skalv med magnitud 6 eller större.

**Skytte**

Vad innebär det, hur ska jag som är lekman förstå det? Hur beskriver du det för dina barn?

**Björn Lund**

Ja, de är så små så det är svårt. Vi har en yta med en radie på 10 km, som är ett stort område. Under den här tiden är Sverige fullt av sprickor och förkastningar och en massa olika riktningar på sprickorna. Då finns det möjlighet att ha ett större skalv. Inte överallt men på många ställen finns det möjlighet att man har en spricka som är tillräckligt stor för att skapa ett så här stort skalv. Vi har kanske en stor struktur som glider lätt, där skulle man få alla jordbävningar på samma ställe. Möjligen har vi ingen så tydligt eller svagt ställe där skalven kan hända utan vi får dem slumpmässigt.

**Skytte**

Finns det något ställe eller plats i Sverige, där man kan säga att här blir det aldrig jordbävning under den här tiden, finns det ett enda ställe där vi kan säga nästan garanterat?

**Björn**

Nej

**Fråga från publiken; Anders Andersson**

Det finns ett ställe i Sverige där jordskalven inte kommer åt och det är den världsberömda linsen i Forsmark som är omgiven av Forsmarkssprickan på ena sidan och Singöförkastningen på andra sidan. Det bäddar in linsen som kommer att vara för evigt.

**Skytte**

Vad säger ni andra?

**Raymond**

Eviga tider vet jag inte, det är sant att linsen är den är p g a att det funnits rörelser i zonerna runt omkring. Zonerna började skapas för 1800 miljoner år sedan, de har rört sig flera km. Ett stort magnitud 9 skalv rör på sig kanske 10-20 meter. Ni kan själva räkna ut hur många såna skalv som en sån zon har upplevt under sin livstid. 10 gånger så mycket magnitud 8 och

10 gånger så mycket magnitud 7 skalv. Vi pratar alltså om 100 000 tals väldigt stora skalv längs de stora deformationszonerna i jordskorpan både i Sverige och på andra platser för att kunna flytta bergmassor såna stora avstånd. Vi har flyttat Afrika från Sydamerika. Det är enormt många skalv och stora rörelser. Trots detta ser berggrunden ut att vara relativt intakt i den här så kallade linsen. Den är exponerad för oss att studera, det finns tunnlar i den, vi kan promenera på den och vi kan alltså se på berget, i linsen, vad alla dessa skalv har lyckats åstadkomma. Det är det som är huvuduppgiften för platsundersökningen både i Forsmark och Oskarshamn. Att förstå och analysera och rätt använda den informationen för att Allan och hans kollegor ska kunna göra en bra säkerhetsanalys.

### **Skytte**

Om det inte finns någon enda plats i Sverige som inte skulle kunna drabbas av ett skalv då måste man väl kunna bedöma om vissa områden är mer känsliga än andra? Hur känsligt är det då i de två områden man har valt ut, Forsmark och Oskarshamn?

### **Nils Axel**

Jag kan ju svara för att jag har analyserat forntida jordbävningar i de här två områdena. Forsmark har analyserats mera noggrant men här nere i Oskarshamn mera ytligt. I Forsmark har jag plockat fram 5 stora jordbävningar, 5 på 10 000 år. Alldeles strax intill finns i Hudiksvall 7 ytterligare och nere i Mälardalen 14 ytterligare. Det där är ganska många i den regionen. Här nere har jag bara lyckats hitta 2 men jag har inte studerat det tillräckligt, särskilt de unga sedimenten. Men om jag jämför med SSI-rapporten där Lambeck säger att det ska vara mer jordbävningar i Oskarshamn och färre i Forsmark så det blir det tvärtom i observationsnätet.

### **Kommentar**

Det kan ju vara så att du har varit mer uppe i Forsmark.

### **Skytte**

Kommentar till dessa siffror, Björn Lund, varsågod;

### **Björn Lund**

Såsom vi har mätt de senaste 150 åren kan man inte dra någon som helst slutsats om att det skulle vara någon skillnad mellan Forsmark och Oskarshamn, båda är i den sydöstra delen av Sverige som är lugna, alltså lite jordbävningar jämfört med Norrland och Västkusten. Utifrån det som vi har idag kan vi inte se någon skillnad.

### **Raymond**

Nu är det dags för mig att säga att jag inte håller med Niklas. Han har observerat en massa saker i berget men har haft svårt att leda i bevis att det har varit jordskalv, hur stora dessa har varit, att peka ut vilken zon som orsakar de här effekterna. Vi har anlitat en pionjär, Robert Lagerbäck, som är lika berömd i de här sammanhangen som Niklas, att faktiskt undersöka Forsmark och Oskarshamn just med avseende på yngre förkastningar av den här typen. Undersökningarna är klara och rapporterade, ni kan läsa om det på nätet, och han drar slutsatsen att han inte alls kan påvisa några postglaciala skalv, vare sig i Simpevarv, Laxemarområdet eller Forsmarksområdet. Vidare tycker jag det är upprörande att du trots den hårda kritik du fick efter arbetet på Äspö där du med sådan emfas hävdade att du sett både det ena och det andra skalvet med olika magnituder har kvar dessa i din bok. Magnitud 6 och 7 till och med, en kvantifierad magnitud. Alltså en samlad expertis avfärdar samtliga dina argument, det finns inga bevis för postglaciala förkastningar i Äspö området. Nu kan ju inte

jag titta på varenda en av dina observationer men om man drar några stickprov så kan jag peka på ett antal fall att argumentationen är, om inte obefintlig, så väldigt svag. För hur du kan koppla det du ser till orsaken till det du ser.

Låt mig göra en jämförelse: vi går till doktorn och han konstaterar att vi har feber och doktorn säger 37,9 och att ni har cancer. Det är klart vi skulle kunna ha cancer men det finns alternativa tolkningar som är mer rimliga för en observation. Så Niklas data är observationer men magnituderna är Niklas slutsatser. Och de flesta slutsatserna är rena påståenden, beviskedjan är inte komplett, delarna i pusslet hänger inte ihop hela vägen. Han har säkert rätt i en del av detta men jag tror inte, och inte någon annan heller, att vi har haft oerhört stora och många skalv. Jag är tveksam till att de skalven av den storleken kan komma så långt ner i Sverige som Niklas och ett ytterst litet antal andra påstår. Det enda vi känner till med säkerhet är de normala.

### **Skytte**

Min ursprungliga fråga, om någon kommer ihåg den, var huruvida de två ställena utmärker sig. Det utlöste det detta. Då måste självklart Mörner få replikera på detta. Varsågod.

### **Nils Axel**

Det finns ingen replik – det talar för sig självt men fältdata måste vara fältdata och det finns ju gjort, SSI gjorde en analys genom Adams av det material som jag har tagit fram, på ett helt annat sätt och kom, som någon säger, till sin förvåning fram till att det stämmer perfekt med modellerna. Det får man inte ta bort. Magnitudberäkningarna är så väldigt homogena med det andra observationsmaterialet så därför ska man ju inte avfärda det, särskilt inte om man talar om säkerhet.

### **Raymond**

Niklas frekvenser skiljer sig en storleksordning 100 från övriga expertgruppen, ungefär, i antal. Han visade en bild igår att det var 100 till 1 000 magnitud 7 eller större och det är väldigt mycket mer. Om vi leker med tanken att Niklas hade suttit med i expertgruppen då hade han varit en outlier, och det finns kanske metoder att hantera det, men Niklas har så väldigt mycket mer än de andra i expertgruppen. sedan kan man använda det ändå och det visar sig att det inte är så känsligt. Vi ska komma ihåg att det är en mycket stor skillnad i uppfattning mellan Niklas och de övriga i antalet skalv som totalt sett kan ha skett.

### **Skytte**

Där reflekterar jag omedelbart, det är väl i och för sig inte ett argument? Folk har haft avvikande åsikter i väldigt många fall, man kan notera att du säger det med styrka, men för mig är det inget argument.

### **Raymond**

Jag tar tillbaks allt (ironiskt)

### **Skytte**

Det behöver du inte alls göra.

### **Mikael**

Frågan du ställde – i det projekt som vi gjorde som experter var det ingen skillnad på de här platserna.



**Skytte**

Raymond, får jag fråga dig, vad menar du i sakfrågan om du talar om Forsmark och Oskarshamn, hur ska jag tolka dig?

**Raymond**

Jag kan inte se att det ska finnas någon skillnad i framtida frekvens mellan de två platserna.

**Skytte**

Då kan jag dra slutsatsen att du och Mikael inte kan se någon skillnad och Mörner kan se skillnad men att det beror på att han inte har varit tillräckligt mycket på det ena stället. Är det rätt uppfattat?

**Raymond**

Ja, det är det.

**Britt Lindfors, Östhammars kommun**

Jag vill fråga om stora jordbävningar före en istid. Mikael sa att det finns två typer av jordbävningar och då undrar jag genast - kan man förvänta sig att jordbävningarna här beror på istiden som varit och kan de bli färre?

**Mikael**

Jag sa att jag inte visste så mycket - det är vad jag tror men det lät på Ragnar Slunga att det inte stämde så det kanske han kan behöva kolla.

**Svar på frågan**

Det är helt klart att det triggades en hel del skalv under istiden men det är inte bara istider som orsakar jordskalv, andra fenomen kan också orsaka skalv. Man kan inte se någon större skillnad på jordskalven i sig, vi har den här typen av mekanismer även utan istider. Det framgår av expertgruppens arbete att den energimängd som har utlösts under glaciationsskalven inte kommer från deformationsenergi som isen innebär utan det måste vara en större energimängd, tektonisk energi. Det är de tektoniska krafterna som är mycket större än istiden. Men istiden har effekt bara genom att den ger möjligheter att det verkligen kommer upp som jordbävningar. Man kan inte säga att det är någon skillnad på mekanismerna i sig.

**Skytte**

Det finns en kategori här som inte har sagt något och det är ni som har haft synpunkter på säkerheten. När jag lyssnade och hörde att det av 4 500 kapslar så är det bara någon enda som skadas och om den skadas så får den en begränsad effekt, jag hörde också att ett skalv som kan skada en kapsel är mycket ovanliga inom 100 000 år. Då tänker jag i mitt sinne att det låter ju urtryggt. Det låter som folkhemmet i kubik. Det är tryggt, säkert och helt oproblematiskt!

**Bo Strömberg, SKI**

Det här har vi inte sett något av än, det är ett arbete som pågår och om det här materialet inte har granskats tycker jag inte att vi ska dra för stora växlar av slutsatserna. Jag tror att SKB håller med mig om att det är preliminära slutsatser det är frågan om. När man gör dessa beräkningar bygger det på en rad antaganden, det finns osäkerheter och varje osäkerhet måste analyseras och granskas på ett systematiskt sätt. Och det är först när vi har gjort det som vi kan känna oss trygga och där är vi inte ännu.

**Skytte**

Men jag hör att även Kjell tar upp detta i sin sammanfattning och det ger intryck och om man då talar med okunnigt folk i allmänhet såna som jag är så tar man fasta på det. Tryggt, säkert, fint, de har ju själva sagt det.

Vi kanske kan höra SKBs version

**Allan**

Jag håller helt med Bo Strömberg i det han säger. Dels är det preliminära slutsatser, vi håller på med det, och allt vi gör måste givetvis granskas. Det är en del av processen och det påverkar inte hur vi gör det eller vilken tilltro vi har. Vi måste göra det som vi ser att vi kan underbygga och med all kunskap vi har om de här processerna så är det här de slutsatser vi har kommit fram till. Vi har vänt oss till de bästa experter vi har tyckt oss finna på områdena och då lagt ihop allas kunskap och kommit till de här slutsatserna. I alla tusentals sidor i rapporter sedan kommer man att kunna läsa om varför vi gör dessa påståenden.

**Skytte**

Men backar du lite då inför min reaktion när jag säger Vad säkert?

**Allan**

Nej, jag vill inte ändra på några påståenden. Vilket förtroende du då måste ha för mig.

I retoriken vet vi ju varför vi i allmänhet tycker olika saker, vad vi baserar vårt tyckande på i komplicerade frågor som till exempel kärnkraftomröstningen för ett antal år sedan, eller i den här frågan. För vi kan inte veta, vi har ingen kunskap, vad är det då vi baserar våra beslut på: Jo, förtroende. Man fattar förtroende för någon.

**Mikael**

Vi har helt olika roller, man kommer in i en fruktaffär och frågar om det här är fina äpplen då kommer han att säga ja, de lyser ju fint. När det gäller förvaret så finns det inget förvar det är bara papper som du kan skära dig på fingrarna med men du kan inte göra något. Men den slutgiltiga rapporten har inte kommit in, den kommer tillsammans med tillståndsansökan och då vet du vad SKB säger. SKB har också rätt att ändra sig.

**En fråga**

Vi har pratat om påverkan på förvaret. Den här frågan kommer att hamna hos SSI. Ett kapselbrott inträffar, då uppstår frågan, håller bentonitbarriären och följdfrågan blir då: Vattnet är en viktig ingrediens om utvecklingen ska ta fart, syresatt vatten måste komma ner till kapseln. Hur länge kommer vattnet att finnas med löst syre i slutförvarsplatsen? Upplösningshastigheten har ju också betydelse så länge det finns vatten med syre i. Kommer det att vara tillräckligt med vatten för att lösa upp bränslet så det blir en farlig utveckling av utsläpp?

**SSI**

Egentligen är det SKB som ska ge svaren och myndigheterna ska granska. Du nämnde två delar, det ena är om det finns syre kvar när man förslutit förvaret. Det syre som eventuellt finns kvar förbrukas snabbt. Det finns mycket organiska ämnen och bakterier som gör att det tar slut. En allvarigare fråga är i samband med en glaciation när man har högt

grundvattentryck om man då skulle få ner syresatt vatten och vilken effekt det har. Det är fortfarande en öppen fråga som vi väntar svar på från SKB.

Den första frågan tycker jag är relevant. SKB har gjort en del beräkningar på hur mycket syre som finns kvar vid förslutningen. Där är vi inte riktigt övertygade om att det stämmer.

**Allan**

Vi kommer att lägga fram mycket om båda sakerna i vår nästa säkerhetsrapport.

**Skytte**

En fråga kvar som riktar sig till Mörner som sitter i ett utsatt läge – men du tycks ju gilla det. Vi har aldrig träffats förut och jag har gjort din bekantskap, jag uppskattar att jag har fått se dig agera och jag har sett dina mindre diplomatiska attityder och allt detta har framkommit och du har haft hetlevrade debatter här med bl a Raymond. Jag har skrivit ner vad du har sagt under de här två dagarna. Om de här har du antytt att de är köpta, de vill vara med i båten hellre än att säga sanningen, de ljuger, de hittar på, du har sagt löjligt, du har sagt nonsens och trams. Då måste jag ställa frågan, - tror du att dina kollegor där borta hittar på saker eller vill dölja saker, för du uttrycker dig med sån vilja?

**Nils Axel**

OK, du är en skicklig person som kan läsa sånt man kanske inte vill tala om. Jag är också en människa som bara talar om det jag verkligen tror på, ingen kan påverka mig eller köpa mig. Genom åren, och jag hoppas det från igår ändrades lite, det påstås att det var frostiga relationer med SKB, det skulle ändras och det ändrades inte. Så har jag känt att jag varit utsatt för en förfärligt nedrig behandling där man med alla medel vill misskreditera och komma iväg ifrån, negera det med vilka medel som helst. Ändamålet att förhärliga metoden tillåter vilka medel som helst. Jag tror också att också att man väljer dom som säger just det som man vill höra och dom som säger det som är kritiskt dom får inga mer anslag. Så tycker jag det har varit genom tiden och ni får ursäkta det för min ärmars är lite uppkavlade, om man kan säga på det sättet.

**Allan**

Så svaret är alltså ja?

**Nils Axel**

Ja

**Skytte**

Kommentar eller går vi vidare?

**Mikael**

Jag hörde du nämnde SKB som en myndighet och samma sak har jag sett i Dagens Nyheters ledarsida, en förvirrad ledare, som talar om slut- och djupförvar och kallar till slut SKB för en myndighet. Vi måste ändå lägga en stor vikt vid att vi har olika roller och vi måste räkna med att SKB har intresse och övertygelse och sin roll. Utan att beskylla dem för något - låt oss hellre vara klara med våra roller och visa det tydligt.

**Allan, SKB**

Ja det är alldeles riktigt och det är viktigt för den frågan vi var inne på nyss. Tilltro alltså det finns också en motpart, myndigheterna som granskar oss.

**Skytte**

Därmed sätter vi punkt på den diskussionen. Fyra minuter kvar till kaffet. Frågor från publiken.

**Monika Johansson**

Jag har funderat på hur snart kan vi få en jordbävning? Vi pratar om 100 000 år, kan vi få den innan vi hunnit bygga djupförvaret så att CLAB och våra nuvarande kärnkraftverk är i riskzonen? Eller är det nåt vi kan glömma?

**Björn Lund**

När vi tittar på möjligheten för skalv inom en viss tidsperiod säger vi ingenting om när. Man kan beräkna sannolikheten för en viss tidsperiod inom de 100 000 åren eller om vi tittar på 1 000 år så vi inte behöver bry oss om istiden så är det en viss möjlighet att få ett visst antal skalv. Då kan man beräkna hur stor sannolikhet det är att skalvet ska komma under en visstidsperiod inom det större intervallet. Det blir en sannolikhet men möjligheten finns där. Det är klart att vi kan få en magnitud 6 i morgon, i området.

**Torsten Carlsson ställer en fråga****Skytte**

Den frågan ska vi fundera på under kaffet, vi ses om 20 minuter

*Det kom en god man ur publiken kom fram och sa, det finns några saker som kanske inte alla känner till, ett begrepp som återkommer gång på gång, vad innebär DRD-metoden?*

**Nils Axel**

DRD betyder Dry Rocket Deposit, där lägger man ner avfallet i ett torrt utrymme, beroende på hur stort berget är kan man lägga på det djup man då väljer. Man omger det med en artificiell krosszon som hjälper till med dräneringen. Torrt bergrum.

**Fråga**

När man talar om expertgruppen, vad avser man då?

**Mikael**

Ett projekt som vi hade och som är avslutat. Rapporten går att ladda hem från vår hemsida. Vi nominerade, frågade efter förslag på experter på jordskalv och vi fick ett 50-tal experter och till slut stod jag med 16 experter. Då frågade jag en urvalsgrupp på fyra professorer om de ville ta fram de mest lämpade och vi fick fem stycken. De är vad vi kallar expertgruppen. De gjorde sedan en bedömning av hur många jordskalv det skulle kunna bli under 100 000 år av en viss storlek.

**Skytte**

Nu är det helt och hållet publiken som styr det här. Nu har vi fem talare som vill ställa frågor. Torsten var så god och upprepa din fråga

**Torsten Carlsson**

Under de här två dagarna har det pratats mycket om berget, väldigt lite om det som tillförs berget i ett slutförvar. Det tillförs ju nya material i form av bentonitlera och en blandning förmodar jag, bentonitlera och bergmassor i en framtida återfyllnad av de tunnlar där

kapslarna ska föras ner. Då kan man fråga sig, vid en jordbävning eller förkastning i ett djupförvar och det samtidigt finns en massa vatten i rörelse som kan ta med sig återfyllningsmassor ut. Hur stor är sannolikheten att utfyllnadsmassorna försvinner omkring det som ska isolera kapseln? Kommer man från industrins sida att redovisa det här?

### **Frågan ställs till SKB**

Ja, det där tittar vi på. Om man funderar på vad som händer med bentonitleran, det material som vi återfyller tunnarna med som i alla fall kommer att domineras av ett lermaterial, så är det inte så att skalvet i sig är så problematiskt. När det gäller bentoniten som omger kapseln är det frågan om hur rörelsen i berget fortplantas in mot kapseln och vad det till slut blir för påfrestning på kapseln. Vi är inte oroade för att den förändring som sker i sprickan kan föra bort bentoniten. Däremot finns det andra problem med istider - det är att man får en förändrad kemi i grundvattnet, man får en förändrad sammansättning. Då är frågan hur det påverkar bentoniten, där har vi en hel del utredningar igång för att ta reda på om det finns anledning att tro att bentoniten får en annan form rent kemiskt. Det finns andra relaterade frågor som vi arbetar mycket med.

### **Fråga**

Vad är worst case i det här?

### **SKB**

Bentoniten som omger kapseln, det värsta som kan hända med borttransport av bentonit är att man transporterar bort all bentonit eller att man tar bort så mycket att bentoniten inte kan bära kapseln utan den ramlar ner till botten. Då är kapseln mer exponerad för skadliga ämnen som faktiskt finns i grundvattnet. Då måste man göra korrosionsberäkningar på kapseln på ett annat sätt. Det är worst case om vi blir av med bentoniten som en skyddande barriär.

### **Ulla Westerlind, Östhammar**

Det finns lite frågor angående jordskalv, det har varit intressant. När tsunamin kom skulle man kunna ge varningar och kunna ta tala om i förväg när skalven kommer. Lyssnar man på de här herrarna så verkar det inte som om det går att beräkna den biten, ligger vi så långt efter i Sverige att vi inte har de möjligheterna?

### **Svar**

Tsunamivarning, den kommer att utges, med de system vi tänker oss nu, det är först efter att man fått en jordbävning. I allmänhet tänker man sig inte att tsunamivarning ska förutse jordbävningen. När det gäller förutsättningar av jordbävningar så finns det massor av metoder men ännu inte etablerade. Svenska seismologer har varit mycket involverade med arbetet på Island där man förvannade om ett skalv sex timmar innan.

### **Fråga**

Ragnar, på de extremt känsliga områden som jag inbillar mig, typ Los Angeles och Kalifornien, är det inte ens utvecklat där?

### **Slunga**

De har valt en mycket olustig filosofi i Kalifornien. Om man tittar på mikroskalv som ger direktinformation om vad som händer i jordskorpan ökar de om man går ner en magnitud i storlek så får man nästan 10 gånger så mycket information. Men det kräver lite arbete och det har de inte velat ta på sig i Kalifornien så de har nöjt sig med att gå ner till magnitud 1 eller 2

och får de en mycket begränsad information och man kan säga att de har misslyckats med det. Men jag är övertygad om att de ändrar sig så snart de inser att de gjort fel.

### **Fråga**

Förstår jag dig rätt, vi kan alltså inte riktigt förutse jordbävningar?

### **Slunga**

Det är riktigt att det finns svårigheter helt generellt men man kan säga att i de områden man har möjlighet att göra mätningar i närområden, som Kalifornien och Island och delar av Japan och Taiwan, är många av skalven väntade, de är lätta. Det är bara två av fem jordbävningar på Island som varit överraskande när de kom. Först när man tittat lite närmare på det och under de senaste tio åren så har man börjat begripa att även de var tydliga.

### **Fråga**

Ragnar, jag har ett hus i Ligurien, alltså nordvästra Italien. Ett berg som sträcker sig rakt upp, 2 000 m högt. Där är jordbävningar, i min by försvann halva byn för 25 år sedan och för 10 år sedan när jag var där kom det en jordbävning. Det var mycket spännande att vara med om men jag reagerade på att alla djur reagerade flera dygn i förväg. Plötsligt hade vi tusentals fladdermöss ute på dagen, katterna jamade, hundar ylade, åsnor skriade. Det var alldeles uppenbart att djuren kände vad som skulle hända.

### **Slunga**

Jo. om vi tittar på isländska förhållanden så har det varit en enormt hög mikroskalvsaktivitet med skalv som t o m människan känner. Det är mycket möjligt att en del djur är mer känsliga för vibrationer eftersom de lever ett mer naturligt liv än vi, de sitter aldrig i bilar och har större känslighet. De reagerar på det som seismologerna reagerade på i Island.

Det finns faktiskt en vetenskaplig publikation i den mycket ansedda tidningen Nature för ca 10 år sedan där man tog upp det här med djuren att de kunde förutspå jordbävningar bättre än apparaterna.

### **Kenth Pettersson, Miljörörelsens kärnavfallssekreteriat**

De senare byggda kärnkraftverken i Sverige är byggda jordbävningssäkra så min fråga till myndigheterna är – kommer ni att ställa kravet på att djupförvaret ska vara jordbävningssäkert för att godkänna det hela? Vilka krav kommer ni att ställa?

### **SKI**

Nej vi kommer inte att ställa något sånt krav. Det finns inga specifika kriterier, det går inte att jämföra ett slutförvar och ett kärnkraftverk. Kärnkraftverk står uppe på backen och man kan titta på det - ett slutförvar måste vi förutsätta att det kan sköta sig självt när vi fyller igen tunnlarna och lämnar det. Då har vi istället kravet på multibarriärprincipen att det ska vara flera barriärfunktioner så om det är något vi missat ska det inte leda till oacceptabla konsekvenser.

### **Kenth Pettersson**

Men vi har ju en drifttid och eftersom vi nu inte vet hur kärnkraftverken kommer att drivas i Sverige så kanske vi har en tid på 80-100 år så under detta sekel kommer vi inte att ha ett djupförvar. Kommer ni att ställa kravet att det DÅ ska vara jordbävningssäkert?

**SKI**

När slutförvaret är i drift gäller andra förutsättningar, då är det en anläggning i drift och då är det andra föreskrifter som gäller då är det en kärnteknisk anläggning. På det sättet är det mer jämförbart med ett kärnkraftverk. Det är dock så att man deponerar kapslarna i deponeringstunnlar, när man deponerat ett antal kapslar så måste man börja fylla igen, man kan inte ha det öppet.

**Fråga**

Det är väl inget som hindrar att man har kontroll över tunnlarna?

**Svar**

Den typen av mätning kan du göra men du har ändå inte den situationen att du kan gå och titta i tunneln. Det är inte helt jämförbart med ett kärnkraftverk.

**Fråga**

Kan man inte ens gå in att titta på optisk väg?

**Svar**

Det här är inte klart än, vad det är man ska mäta och vilken information man måste samla in under drifttiden. Det är sånt som vi diskuterar nu, det finns inte framme men det är en mycket bra fråga.

**Mikael**

Driftskedet och de 100 000 åren som kommer efter – det är stor skillnad i alla avseenden och jag är osäker på om Kenth frågade om båda skeendena. Om jag bara får ta det här med långtidsskedet efter förslutning så gäller våra krav, den risk som förvaret utgör för dem som bor i närheten. Riskerna är en på miljonen och år och det ska gälla för alla.

**Nils Axel**

När det gäller jordbävningsskyddet, att kontrollera vad som händer, just det är ett av skälen för att tala om torrt förvar. Man gör en krosszon det hjälper till för att skydda, inte fullkomligt, men det är bättre än ingenting. Sedan har man full monitoring, händer det nåt så kan man både reparera det och använda det som finns kvar för mänsklighetens fromma om man får den tekniken i framtiden.

**Allan**

Nu har Mikael sagt det mesta. De krav som myndigheten ställer är att summan av alla komponenter inte får överskrida viss nivå. Vi har att utreda alla de osäkerheter, allt som kan ställa till nåt i förvaret, och göra en beräkning av summan av allt detta. Det är den summan vi har att redovisa och då visar det sig i tidigare analyser att det största bidraget till den summan, kan man gissa även i det här fallet, är jordbävningar. Så ser riskbilden ut som vi uppfattar den.

**Dam i publiken**

Du sa något, Göran, om att man kan tänka sig övervaka slutförvaret optiskt under tiden man försluter det. Det skulle många vara intresserade av att kunna följa processen i slutförvaret. Då är min fråga; finns det någon risk med det att man installerar optiska kablar eller någon annan temperaturövervakning. Kan installationer leda till att man skapar kanaler för vattentransporter som så småningom kan eroderas ur och öka risken för att bentonitleran gröps ur och riskerar att slutförvaret blir mer öppet än man tänkt sig?

**Svar**

Jag kan bara säga att det i SKIs föreskrifter står att åtgärder för att monitera slutförvaret får inte försämra dess säkerhetsfunktioner.

**Allan**

Det är precis den filosofin vi har när vi funderar på hur det här bäst ska göras. Vilken information man kan få vid såna här monitoringsåtgärder som verkligen är viktig för att bedöma den långsiktiga säkerheten och vad det kanske påverkar negativt. Dialogen pågår fortfarande.

Vi vill inte ha några klockor som ska ringa efter 500 år.

**Ingmar Hjalmarsson , lokalpolitiker**

Jag har en fråga som kan verka omvänd. Finns det risker att energimassan som vi stoppar ner i berget skulle kunna starta en sprängning eller lättare jordbävning. För det är ju ändå ganska mycket energi kvar- kan den lösgöra sig?

**Svar**

Den huvudsakliga påverkan, energimässigt, som bränslet och berget kommer att ha på omgivningen är att det kommer att värmas upp. Det sker på ett kontrollerat sätt som vi tar hänsyn till i analyserna. Det är fenomen som är mycket väl kända. Det finns många saker som är osäkra men just strålningens utveckling i tiden och värmeutvecklingen är nåt som går att räkna på med mycket hög precision. Där har vi mycket god kontroll.

Sen finns det en annan relaterad fråga, kriticitet, det handlar om ifall det finns någon risk att sätta igång en kärnreaktion, alltså få ett förhållande som liknar dem i en reaktor. För det krävs det att kapslarna går sönder och fylls med vatten och en massa andra förutsättningar som man förstår sig på väl, och som också ingår som en naturlig komponent i säkerhetsanalyserna att reda ut. Det har vi gjort många gånger under årens lopp och alltid kommit till resultatet att det finns ingen risk för det här.

**Virpi Lindfors, Östhammar**

Om det skulle bli en jordbävning och en kapsel går sönder, då undrar jag hur lätt kan radioaktivt material föras upp till markytan genom berget så det blir farligt?

**Allan Hedin**

Om ett skalv inträffar så att en kapsel skadas då har man stört flerbarriärsystemet ordentligt. Man har fått en förskjutning, den undre delen av berget rör sig åt ett håll - den övre delen rör sig åt ett annat håll, och mitt i det här finns kapseln som spräckts. Då har även bentoniten förtunnats, man måste räkna med en spricka där en sån här rörelse har skett. Den bör också vara vattenförande. Då har man en situation där tre viktiga barriärer är skadade, kapseln, bentoniten och berget. Det gör det att berget inte har någon fördröjande förmåga alls. Så allt som kommer ut transporteras direkt upp till biosfären. Vad blir konsekvenserna för ett sånt fall, om det skulle inträffa?

Jag visade på förmiddagen ett fall där vi har räknat på det och gjort ett antal pessimistiska antaganden, bl a kapselns skyddande förmåga är helt borta, bentoniten har reducerats väsentlig. Man räknar inte med att det finns någon fördröjande förmåga hos sprickan i berget, om man dessutom antar att allt som kommer upp sprids över ett litet område, då hamnar man



på resultat som ligger på 1% av bakgrundsstrålningen, t ex om det är ett jordbruk som nyttjar jorden eller om man dricker vatten från en brunn.

### **Arne Johansson**

Vilka skador kan man räkna med att kapslarna råkar ut för? Materialet i kopparn kan vara ganska hårt och gjutjärnet innanför har väl också skjuvhållfasthet som överstiger bergets. När klippning av kapseln kan det väl inte bli frågan om utan det borde väl bli en klämskada? Kopparen är väl deformierbar, innehåller kopparen någon form av hålrum som gör att den är kompressibel eller är den fylld med material som tar upp såna krafter?

### **Allan**

Det är en bra fråga. Det är precis som du säger en klämning av kapseln. Det måste man studera med modellberäkningar för att se hur hela det här systemet påverkas av en sån här rörelse. Om rörelsen inte är alltför stor blir den elastisk dvs en påverkan som fjädrar tillbaks. Men om den är större får man en plastisk inverkan dvs man klämmer insatsen. Om det nu händer - följer kopparhöljet med? Ja det gör det nog till viss del men det blir restspänningar i koppar och det är svårt att bedöma. Man tvingas göra många pessimistiska antaganden när man ska vara säker på att man inte gör en för optimistisk bedömning av konsekvenserna. När vi säger att våra resultat tål en förskjutning på 10 cm ligger det många pessimistiska antaganden bakom det.

När vi antar att den har gått sönder brukar vi räkna bort hela dess skyddande förmåga för det är svårt att riktigt beräkna hur det kommer att se ut.

### **Fråga**

Kanterna i berget som klämmer, måste ju ge med sig lite i berget också för hållfastheten är väl av samma dignitet som berget?

### **Harald Hökmark**

Det är riktigt att berget är hårdare än bentoniten och bentonitens styvhet och hållfasthet är mycket mindre än berget så man bör nog inte räkna med att berget krossas utan bentonitens spänningar överförs till kapseln på ett sätt som beror på hur snabbt rörelsen sker. Om det sker snabbt så måste man räkna med att bentoniten är styv och då får man böjningar i kapseln. Hade berget krossats hade det inte gjort någon större skada heller.

### **Arnold Unge från Östhammar**

Vi ska egentligen inte komma in på strålning men det låter ju så ofarligt när Allan beskriver det här med 100 klippta kapslar och det som kommer upp till ytan och när det börjar närma sig bakgrundsstrålning måste man ha klart för sig att det handlar om tillskott av strålning.

### **Skytte**

Enkelt uttryck tycker du att Allan bagatelliserar?

### **Arnold**

Ja, men det är inte strålning vi ska prata om ikväll

### **Allan**

Jag vill sätta konsekvenserna i ett perspektiv – vad är det vi pratar om – bakgrundsstrålning är nåt som alla utsätts för dagligdags. Jag ville driva frågan så långt så man kommer till nåt som

är jämförbart med det vi är vana vid. De krav som myndigheterna ställer är ju att konsekvenserna ska vara betydligt lägre.

### **Marika Dörwaldt, från Miljöavfallssektariat**

Siffran om att bara 1 av 4500 kapslar blir skadad, jag undrar om det är många kapslar på samma ställe är det inte i praktiken risk att om en blir skadad så blir det fler som skadas? Om en skadas så skadas flera?

### **Allan**

Det kan inte uteslutas. Kapslar skadas genom att sprickor i berget rör sig och det kan finnas sprickor som skär flera kapslar och då kan man inte utesluta det.

### **Raymond**

Jag vill mildra lite. Stora rörelser kan bara ske på stora sprickor och det finns en gräns för hur stor den sprickan kan vara för att röra sig mer än vad kapseln tål. Vi har statistik på hur sprickorna ser ut i berget och kan beräkna skärningssannolikheten mellan kapslar och sprickor så som vi tror att de ser ut. Men det är också så att när vi borrar våra deponeringshål att vi missar en spricka. Den är anonym, till skillnad mot andra sprickor leder den inte vatten, den är inte tjock, den är inte mineraliserad, kartören var bakfull, det kan hända att man har missat. Men att missa en spricka i nästa kapselhål och i nästa, när det är samma spricka, det ser vi som ytterst osannolik. Dvs dyker sprickan upp i flera hål så vet vi att sprickan är stor. Alla faktorer ska samspela, att vi har ett stort skalv och detta skalv kan reagera nån spricka i förvaret mer än vad kapslarna tål, att det råkar vara just den sprickan, just där, som just den kartören har råkat missa, den sannolikheten är mycket litet.

### **Skytte**

Kurt, nu får du prata fritt ur hjärtat

### **Fråga**

Det här ska ju handla om jordbävningar men det står också något om att det har med istid att göra. Det har inte behandlats på ett ingående sätt av panelen och andra, tycker jag. Min fråga är, det är inte bara några små saker som kan hända, det skulle kunna vara så att hela förvaret rasar ihop, vad händer då med alla gångar och tunnlar och hur många kapslar går i så fall åt och kan skada djur och människor?

### **Hökmark**

Vi kan inte se något sätt med någon modell att detta skulle kunna vara i närheten av att kunna hända. Kapslar, sprickor och tunnlar ser ju inte magnituder de ser spänningsförändringar och de går att beräkna och uppskatta och då händer inte såna saker.

### **Fråga**

Det är kanske 5-800 meter som trycks ihop och hur stora följder får det då?

### **Hökmark**

Isens verkan är att trycka ner jordskorpan 5-800 meter. Hela jordskorpan följer ju lugnt och sakta med ner under tiden som manteln sakta pressas åt sidan. Det är ett paket som intakt sjunker ner under isen och när isen försvinner förändras spänningarna och det är det som genererar skalven. Samtidigt som isen försvinner börjar manteln att sakta rinna tillbaka under skorpan och skorpan reser sig igen. Hela paketet rör sig tillsammans.

**Nils Axel**

Om vi ska tala om worst, worst case, så har vi en nybildad spricka som man inte har möjlighet att se, då kan den i teorin skära hur som helst.

**Björn Lund**

Jag vill kommentera mängden is, 3 km is låter ju väldigt mycket och det är det. Det mostvarar ungefär 1 km berg om man jämför densiteterna, vi lägger på 1 km berg ovanpå och det betyder att förvaret ligger på 1500 m djup. Det finns gott om gruvor som är så djupa där tunnlarna är intakta

**Sista kommentar, Kurt**

Jag skulle inte tro att SKB har gjort såna prov att de kan säga på det sättet.

SKB har inte gjort prover men räknat har de gjort

**Bodil Lidberg-Jönsson, samhällsbyggnadschef i Oskarshamn kommun**

Om man skulle tänka sig att permafrosten som finns på Grönland idag som är 500 djup tränger ner till djupförvaret, naturligtvis påverkar det plastisiteten i bentoniten, man kan tänka sig att den reagerar som kristallin berggrund i stället. Påverkar det risken för sprickbildning så att man kan riskera att förvaret öppnas medan jordskorpan håller på att höja sig efter en nedisning?

**Björn Lund**

Om man ska ha permafrost som tillväxer konstant neråt kan man inte ha isen ovanpå för den isolerar mot kylan och man får inte samma tillväxt i permafrosten. Sedan vet vi, alla ni som har borrar efter bergvärme, att vi har värme som kommer upp underifrån. Så om man har en stor is som ligger lång tid så försvinner permafrosten. Det är ett fenomen som är mest kritiskt ute i kanten utanför isen där det är riktigt kallt.

**Det blir en följdfråga på det**

När jag en gång i tiden läste kvartärgeologi så lärde vi oss att man innan nedisningen har en väldigt lång period där man har tundraförhållanden och det är egentligen då som permafrosten bildas. Om sedan isen växer till ovanpå permafrosten och då undrar jag om det skulle kunna bli en sådan effekt i slutförvaret. För då har vi kanske permafrosten en bit under istäcket när det väl har brett ut sig?

**Nils Axel**

Det där har vi filosoferat om i 20 år. Det är riktigt att när man lägger på isen måste permafrosten töa av värmen som kommer. Då blir det värmespanningar och värmegradienter som är ganska komplicerade - om det sedan påverkar det hela är en annan sak men det ska in i beräkningarna.

**Skytte**

Klockan är nu 12 minuter i 9 på kvällen och om 12 minuter kan vi sluta men om vi så vill kan vi fortsätta 42 minuter till halv 10. Det beror på er hur mycket ni orkar.

**Fråga från Åke**

Jag skulle vilja få fyra siffror bekräftade innan jag ställer min fråga. Är det OK? Det hela handlar om hur hög frekvens det är av jordbävningarna. Den första siffran måste vara den som SKB räknat med tidigare, enligt Mörner från La Point. Stämmer det?

**Nils Axel**

Det stämmer ja, från -97

**Åke**

Då skulle frekvensen vara 0,03 i jordbävningar. Då har vi en expertpanel på fem herrar och där har det blivit 0,1. Björn Lund har räknat upp det lite till. Om vi höjde Pervia-förkastningen till 8,2 var vi uppe i 0,4 vilket några av de andra experterna inte tyckte om. Jag skulle vilja be Ragnar kommentera det. Vad säger du om det?

**Ragnar**

Han var inte ensam om det, det var fler. Egentligen var det bara en som avvek. I expertgruppen valde man att utgå från det största kända skalvet i Sverige som är 7,6. Det strider mot all kunskap vi har här i Sverige, det största var 8,2. Skillnaden på 0,6 enheter påverkar beräkningarna, sedan ökades det största skalvet med 0,6 som enligt de flesta i expertgruppen ökade frekvensen av småskalv. Men det var väldigt intressant att en av experterna hade en annan åsikt och min åsikt är att en av experterna hade fel. Den experten menade att det minskade väldigt kraftigt, frekvenserna av småskalv. Men han utgick från den energi som isbelastningen orsakade. Så vitt jag kan förstå är detta ett starkt indicium på att de krafter som utlöstes vid de stora skalven vid glaciation är inte de krafter som är begränsade till den elastiska energin från isen utan det är de tektoniska krafterna som har ackumulerats och fått chansen att bygga upp större spänningar genom att isen stabiliserat jordskorpan. Hans resultat stämmer inte med seismologisk kunskap. Men han har gjort en fin grej här som visar att det måste finnas en annan energi.

**Åke**

OK, då säger vi 0,4. Är ni med?

Då har vi möjligen ett worst case där Raymond säger att han räknat om Mörners siffror upp till 3.

**Ragnar**

Jag räknade ut på ett kuvert i matsalen, jag tycker Nils-Axel själv kan få räkna ut sina siffror. Om jag gjorde rätt, jag räknade om det i morse fast med miniräknare då fick jag det till 7. Låt Niklas tala om hur många skalv per 10 km och 100 000 år så kan vi börja jämföra siffror.

**Skytte**

Snart vill jag få fram en fråga efter den exercisen.

**Åke**

Nils Axel - kan vi få ett svar på det?

**Nils Axel**

Vad jag har gjort för att jämföra är att ta Adams diagram där använde mina data men skalade ner det till 7,6 som just Ragnar sa. Så ska man inte göra utan då kickar vi upp det till 8,2 och då blir det rent grafiskt ungefär 3. Skulle man sedan acceptera att jag har sagt att Pärvi inte alls är den största, då blir det ännu mer. Det intressanta i mitt material är att jag har punkter och täckning för det.

**Åke**

OK, till min fråga då. Om det här är worst case, om det är 3 eller 7, spelar det någon roll i SKBs slutliga analysrapport?

**Raymond**

Vi var inne på det tidigare, om vi utgår från kapselhålet i stället och sedan säger vi så här; vad kan vi acceptera i vårt kapselhål? Vi accepterar inte strukturer som kan röra sig mer än vad kapseln tål. Detta måste sättas i relation till hur långt bort man får ett skalv. Vi har ett begrepp som heter respektavstånd som betyder att om man är på ett visst avstånd och samtidigt, det är viktigt, inte accepterar sprickor som är större än en viss radie i deponeringshålet då kan inte ett skalv, hur stort det än är, trigga en rörelse över kapselhålet som är så stort att kapseln går sönder. Om du sedan har frekvensen 0,1 eller 0,03 eller 0,04 eller 0,25 har egentligen ingen betydelse om vi har gjort rätt, men vi kan ju ha gjort fel. Om alla komponenter i kedjan har gått fel, så blir det ju om två stora skalv ska ske i Laxemar eller Forsmark, vilket har väldigt liten sannolikhet, då blir det dubbel effekt. Har du 7 så blir det 7 gånger. Jag har ingen anledning att tro att det är samma kapsel som går sönder flera gånger på raken. Å andra sidan, om det är så att vi har missat en spricka, så är det ju faktiskt en och samma spricka som vi har missat. Det korta svaret är, det har ingen betydelse.

**Elisabet Ahlin, Milkas, Miljörelsens kärnavfallssekreteriat**

Frågan om dessa insikter som är delade av experter, om jordskalv, vi får väl ändå säga att det råder en stor osäkerhet. Så upplever jag när jag tar del av den panel som ändå är den främsta expertisen i vårt land. Då undrar jag hur dessa insikter påverkar val av metod. Inom miljörelsen som jag arbetat länge inom, så är vi djupt oroade över att det görs så lite förutsättningslösa undersökningar av andra metoder och det vet ni att vi tycker om. Jag ville bara koppla ihop det med jordskalv. Vi har pratat att skalvrisker måste påverka förvarets utformning, då undrar jag hur mycket påverkar skalvrisker val av metod? För miljöbalken kräver en redovisning av alternativa metoder som alla ni vet. Ibland får man känslan av att i stället för att börja med en förutsättningslös blick så utgår man från metoden KBS-3 och sedan, som någon sa i panelen, får vi försöka rätta till saker som jordbävningar, att fixa till. Då menar jag att man borde göra tvärtom man borde titta på hur förutsättningarna ser ut, man kanske måste göra en rockad och det har vi frågat många gånger och jag tycker SKB lever dåligt upp till det och myndigheterna är dåliga på att vara på i den här frågan.

**Svar**

Det finns olika uppfattningar, ett spann av åsikter om t ex jordskalv. Är det så att man inte kan utesluta och komma fram till och enas om ett rimligt intervall av värdet för jordskalven då måste man ju utvärdera dem i säkerhets- och riskanalysen och se vad de betyder. Det kan ju vara så att osäkerheterna kanske inte påverkar den totala risken. Vi kan ändå bedöma att det här förvaret har en acceptabel säkerhet. Det är den ena hypotesen men det skulle också kunna vara så att om man har kvarstående osäkerheter och samtidigt får oacceptabla konsekvenser, om det blir så, då är det som du säger, då måste vi ifrågasätta metoden. Om det finns välgrundande osäkerheter att man kan ifrågasätta det här, kommer myndigheterna inte att ge oss klartecken för att konstruera och bygga ett sånt förvar.

**Skytte**

Jag vill gärna höra fler i panelen.

**Nils Axel**

Det är en intressant fråga det är precis det som har oroat mig och det är därför som jag sagt att; varför ska vi leva med osäkerheterna när vi kan göra på ett annat sätt och det skulle vara ett annat metodval. Det skulle då enligt mitt sätt att se vara de torra förvaren där man kan kontrollera det, man kan utnyttja det när energin tar slut.

**Fråga**

Måste man inte någon gång bestämma sig?

**Nils Axel**

Jo, men då är det på det här sättet att man bestämde sig på 70-talet, då hade man en totalt annan geodynamisk bild av vilka krafter som opererade och jordbävningar var totalt uteslutna utom för några få av oss. Då sa man att vi kan ha ett slutförvar för att berget är så stabilt, då gick man och skaffade den organisation som skulle leva upp till modellen det man hade begärt. Det var ändamålet. Nu 30 år efter har vi en totalt annan bild. Om vi skulle börja värdera det tror jag, det är min personliga uppfattning, att vi inte skulle valt det här slutförvaret. Man ska inte ha ett slutförvar när man inte kan ha ett slutförvar.

**Skytte**

Låt mig ställa en fråga – låt oss ponera att vi väljer ditt metod hur lång tid skulle det ta att ställa om hela apparaten efter din metod? Vad tror du Raymond det skulle vara i tid?

*Skakar på huvudet!*

**Nils Axel**

För flera år sedan begärde vi att få pengar till det. Nu är vi i elfte timmen så nu får vi forcera det, då måste det vara på ett år för sedan tas ju alla beslut.

**Skytte**

Allan, du ser aningen trött ut!

**Allan**

Vi har forskat 20-25 år på det här - hur skulle vi kunna nå samma nivå på ett år? Om jag får kommentera frågan som var ställd tidigare. Jordskalv, det är en av de effekter, en av de osäkerheter, ett av hoten mot slutförvaret som måste utredas i en säkerhetsanalys. Kan inte vi visa att vi klarar att innehålla myndigheternas krav när vi tar hänsyn till risken då kan vi inte gå vidare med den här metoden. Det är kristallklart.

Fixa till jordskalven – jag tror att du letar efter var att vi anpassar utformningen av förvaret för att klara ett jordskalv. Det är rätt. Vi anpassar utformningen av förvaret för att det ska klara höga vattentryck under en istid, vi anpassar förvaret för att skydda mot korrosiva ämnen i grundvattnet, vi har bentonit, vi anpassar förvaret på alla möjliga sätt efter den miljö som bränslet och kapslarna kommer att ligga i. Det ligger i hela arbetets natur.

**Kenth**

Jag läser i lokalpressen att kommunpolitikerna i Oskarshamn och i kranskommunerna nu har accepterat ett slutförvar men de har vissa förbehåll och ett år att det ska vara säkert. Då har jag frågat mig, vad är säkert? En del i det hela är att man pratar om säkert berg. Till SKB: vilka mätbara krav har ni på ett säkert berg?

**SKB**

Vi har en rapport som heter Krav och Kriterier som vi ställer på berget. Några krav är salthalt på vattnet, grundvattenföring i berggrunden. Det finns en rapport från 1979 som går att läsa på SKB: s hemsida.

**Björn Dverstorp**

Det är en ganska bra fråga – säkert, jättesäkert eller supersäkert. Det är problem med ordet, det är svårt att kvantifiera. Vad man istället skulle fråga är; vad skulle kunna gå fel och hur sannolikt är det att nåt går fel? Så är SSI: s riskkriterium uppbyggt, så vad SKB måste göra är att utvärdera en mängd olika saker, händelser och processer som kan påverka slutförvarets funktion. Då finns det ett mått, 1 på miljonen som årlig risk, och det är det kvantitativa måttet vi använder för att bedöma om slutförvaret är tillräckligt säkert. Men det bygger på att man måste väga samman en mängd olika processer för det är inte bara jordskalven som påverkar.

**Kenth**

Vi lever ju i ett tekniskt samhälle sedan många herrans år. Tidiga tekniska krav som kom var att, när ångtekniken kom skedde det ångexplosioner och då trädde myndigheterna i och sa att det får inte ske i fortsättningen. Man satte då krav på att så och så ska det dimensioneras för att vi ska godkänna den här ångpannan. Motsvarande borde väl ni myndigheter kunna säga att så och så ska det vara konstruerat så att vi t ex inte godkänner detta djupförvar om det är 10 liter i sekunden som strömmar i vissa sprickor.

**Bo**

Att använda väldigt detaljerade krav är ett synsätt som vi är på väg bort ifrån. Myndigheterna arbetar inte med att dimensionera beräkningar utan vi arbetar med de övergripande principerna och sätter övergripande krav. Sedan har vi andra organ som arbetar för oss, tar fram hållfasthetsanalyser och gör det detaljerade granskningsarbetet, det gör inte vi på SKI. Det är en sån ordning som har etablerats och det har visat sig att det fungerar bättre. Vad gäller slutförvaret så vill vi att SKB ska ta det fulla ansvaret för säkerheten. Är det så att vi har en rad krav hur förvaret ska se ut, exakt hur tjocka kapslarna ska vara, kan det vara möjligt att SKB inte har möjlighet att ta ansvaret utan det är vi som får ta på oss det för vi tar ju ansvar för egna föreskrifter. Det är därför vi är försiktiga med detaljerade krav. SKB tar själva fram krav och vi granskar sedan kraven och ser hur det faller in i våra föreskrifter.

**Mikael**

Jag delar den synen. Man har i USA haft undersystemkrav och man har fått på tafs av Amerikanska Vetenskapsakademien. Det är suboptimalt och det hindrar på det sätt som Bosse säger. I Sovjet hade man tidigare såna krav som man nu är man på väg bort från. Vi har de totala kraven, vad är det för risk för människorna, så länge det är säkert kan SKB göra det på bästa sätt.

**Torsten**

En fråga till Ragnar. I Oskarshamn, i Östhammar, i plinten i Forsmark, i Laxemarområdet, i Simpevarvsområdet har genom industrins försorg, och med tillåtelse av kommuner, länsstyrelse och andra, borrningar genomförts av ett antal hål i berggrunden. Kan dessa borrhål medverka till att glaciation och jordbävningar ger ökade möjligheter till sprickbildning i berggrunden?

**Ragnar**

I princip ja, men borrhålen är väldigt små och om plinten är tillräckligt stor kan det knappast ha någon betydelse.

**Öivind får sista frågan**

Elisabet Ahlin, var du på KASAM-seminariet? Där redogjorde vi från myndighetssidan för vår syn på alla de metoder som har varit uppe på tapeten sedan 90-talet fram till idag. Jag är ansvarig för att koordinera myndigheternas granskning av SKBs forskningsprogram som lämnas in till oss vart tredje år. Där betar vi av samtliga metoder, vår syn på för- och nackdelar, beträffande alla metoder som varit uppe. Det inkluderar också DRD-förvaret, där vi även gått utanför landet för att få ett expertutlåtande. Vår systemmyndighet i Finland, STUK, yttrade sig över DRD-metoden och det var ganska stor överensstämmelse med de synpunkter som kom från STUK och de som vi själva har. Du har själv fått en kopia på det papperet så du borde vara införstådd med vår syn på metoden i förhållande till alla andra metoder som har ventilerats och redovisats under tiden jag har varit engagerad i den här frågan.

**Skytte**

Jag hörde ingen fråga?

**Öivind**

Det var ingen fråga, det var ett klagomål till Elisabeth Ahlin, eftersom hon ställde en fråga, vad myndigheterna anser om KBS-3 metoden.

**Nils Axel**

Eftersom det diskuterades, DRD, den torra förvaringen vore det ju roligt om hur tolkningen av den ska fungera och utformas, det måste ju i alla fall vara vi som har etablerat den som ska svara på det och inte andra som har misstolkat det. Låt oss visa precis hur vi har tänkt oss, och bedöm det som vi har tänkt oss. Gör inte egna antaganden som inte stämmer hur vi tänkt oss.

**Öivind**

Vi stödde oss på nuvarande lagtolkning.

**Nils Axel**

Lagtolkningen var att det skulle vara slutförvar och därför får man inte ha något annat så därför ska vi ta. Det bästa man kan göra av det här vi har åstadkommit, avfallet, därför ska vi vara öppna för allt som kan vara möjligt.

**Göran Skytte tackade för sig.****Rigmor Eklind, säkerhetsgruppens ordförande, Oskarshamns kommun**

Jag vill tacka den här fantastiska panelen, ni har gjort ett fantastiskt arbete och jag tror att vi alla har fått svar på vissa frågor men också nya frågor att ta med tillbaka. Jag vill tacka er som satt med ikväll och vi kommer säkert att träffas igen i andra sammanhang och fortsätta diskutera.



Jag vill också tacka Kjell och Virpi som har föreberett det här och skött det på ett utmärkt sätt och dessutom, framför allt, Göran som har varit fantastiskt duktig och jag tror även att du har lärt dig en del dessa två dagar. Det har ju framgått av frågeställningarna här ikväll.

## Sammanfattning

*(Denna sammanfattning sammanfaller till största delen med en sammanfattning Kjell Andersson gav av seminariet inför Göran Skyttes utfrågning. Vissa tillägg har gjorts med hänsyn till den diskussion som då förekom).*

-----

Enligt SKB: s tidigare säkerhetsanalyser kan det bli i genomsnitt mindre än 1 skalv större än magnitud 6 per 100 000 år (en glaciationscykel) i sprickzoner nära förvaret. Det är ett lite högre värde än det resultat vi fick från SSIs projekt. Om man lade till Mörners data så skulle siffran öka med cirka en faktor 40. Huvudslutsatsen verkar väl ändå vara att det finns samstämmighet om att det kommer att bli kraftiga jordbävningar i samband med nästa istid. Med kraftiga jordbävningar menar man då större än magnitud 6.

Om det finns enighet om det, vilket jag tycker att vi har, så finns det en oenighet kvar om vad det blir för konsekvenser av jordbävningarna. SKB gör analyser och de bygger på modeller där jordskalv sker i stora sprickor. Konsekvenserna av skalven fortplantar sig i mindre sprickor i efterskalv och de mindre sprickorna är det inte helt säkert att man kan undvika utan de skulle kunna passera en kapsel i slutförvaret. Vad vi hörde av SKBs säkerhetsanalys så skulle resultatet vara att ungefär en kapsel av de 5 000 man stoppar ner i berget skulle kunna skadas av den här effekten.

Konsekvenserna av det som SKB redovisar är ändå väldigt små. Frågan blir då; har SKB gjort en riktig modell, har de använt alla data som de borde ha använt eller finns det andra data som borde läggas in i modellen? Vi har hört från Mörner många redovisningar av observationer, grottsystem där berget har krossats, spår efter tsunamis, och vi har hört om metangasexplosioner. Här finns det tydligen oenighet mellan Mörner och SKB vad jag har förstått.

Processförståelsen har ställts på fråga. Mycket av det som Mörner har sett finns på ytan - hur kan man utifrån det härleda vad som skulle hända nere i berget i slutförvaret? Mörner har som konsekvens av sin analys föreslagit att man ska överge KBS-3 metoden och ge sig in på en annan metod. Men idag tycker jag vi har kommit fram till att det vore idé att lägga in hans data i säkerhetsanalysen också.

SKI ställde frågan till SKB om möjligheten att det bildas nya sprickor har lagts in i deras modeller. Jag tror inte man har svar på det ännu. Men SKB litar på sin modell och i den modellen är respektavstånd ett centralt inslag. Då vänder man på frågan, först tar man reda på vad kopparkapslarna som man stoppar ner i berget kan tåla. Då försöker man komma fram till om man kan placera kapslarna på sådana ställen att man undviker större förskjutningar i berget än vad kapslarna kan tåla. Respektavstånd är emellertid en idé som ifrågasätts starkt av Mörner.

Första frågan skulle då handla om förståelse av de processer som ger upphov till exempelvis gasexplosioner. Andra effekter som Mörner har hittat, hur de har kommit till, är det säkert att har hänt vid jordskalv eller kan de ha kommit till på andra sätt? Det är en diskussionspunkt. En annan diskussionspunkt är det som Mörner har sett - vad skulle bli effekten av det på djupet?

Alla mätningar av jordskalv idag och vad man observerar om vad som hänt i samband med tidigare istider ska in under det vi kallar säkerhetsanalysen. Vi har hört Allan Hedin från SKB berätta om det, och myndigheterna har sagt vad de ställer för krav på SKB. En fråga blir väl då – bör SKB lägga större vikt vid andra processer än vad de hittills har gjort?

Vi har talat om vetenskapen, den som ger input till säkerhetsanalyserna, och vi har talat om vad som är acceptabel påverkan från slutförvaret. Det som vi inte var inne så mycket på under seminariet, men som kom upp under utfrågningen, är relevansen. På slutet är det politiska beslut som ska fattas i den kommun som blir aktuell men också ett politiskt beslut av Sveriges regering. Ett underlag för detta är myndigheternas riskvärdering som den kommer till uttryck bl a i SSIs föreskrifter. Debattörerna var eniga om att vi har ett etiskt ansvar för att vår generation, som tagit del av den energi som vi utvunnit ur kärnbränslet, kan erbjuda en lösning till kommande generationer.

Det är kanske en fråga för fortsatt diskussion, hur viktigt det är eller hur pass avgörande det är för bedömningen av KBS-3 metoden, om den håller eller inte håller för en istid. Till den diskussionen hör också andra metoder för att ta hand om avfallet. Vi har avfallet och behöver vi göra något åt det eller ska vi bara låta det vara där det är? Men alla andra sätt att hantera avfallet, inklusive att låta det ligga kvar i CLAB, eller använda den metod som Mörner har föreslagit eller borra djupa hål eller vad det kan vara, ska utsättas för scenariot med kommande istid och jordbävningar.