

DRD

Dry Rock Deposit
accessible & controlable
the DRD-group

P&G

Paleogeophysics & Geodynamics
today an independent firm
earlier a university branch

Nils-Axel Mörner, Rösundavägen 17, 13336 Saltsjöbaden, 08-7171867,
morner@pog.nu

Till Nacka tingsrätt
Mark- och miljödomstolen
Mål M 1333-11

Till Strålsäkerhetsmyndigheten
SSM2011-3522 för slutförvarsansökan
SSM2011-3833 för Clink-ansökan

Angående MKB utvärdering av SKB:s ansökan om tillstånd
till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring
av använt kärnbränsle och kärnavfall (M 1333-11)

UTVÄRDERING av påstådd ”säkerhet efter förslutning av slutförvaret” SKB, mars 2011, Del I-III

min slutsats
efter många års engagemang i frågan och
efter mycket noga granskning av SKB:s ansökningshandlingar
är följande:

- *SKB värderar och analyserar inte riskerna på adekvat sätt*
- *i scenarievalen gör man mycket subjektiva val och utesluter därmed andra fakta och möjligheter i sina analyser*
- *därmed blir riskbedömningar och säkerhetsanalyser mycket bristfällig och ofta direkt missvisande*
- *programmet kan omöjligen passera en MKB granskning*
- *projektet föreslås därför avföras som ogenomförbart*

Saltsjöbaden den 15 maj, 2012

Nils-Axel Mörner

quod erat demonstrandum

1. Utgångsläget

Idén om ett ”slutförvar” föddes i AKA-utredningen (1976) och blev sedan en förutsättning i de tre KBS-rapporterna (gul, grön, röd) och man slog fast att **”denna stabilitet utgör grundförutsättningen för en tillsyningsfri slutförvaring i berg”**.

När nu detta stabilitetskoncept – i ljuset av modern geodynamik – blivit utmönstrat och ogiltigförklarat, så blir konsekvensen att **”ett slutförvar enligt KBS-3 konceptet helt enkelt inte fungerar”** (Detta Eviga Avfall, s. 15).

I mångt och mycket verkar det som om idén om ett ”slutförvar” enligt KBS-3 metoden satts ”på en räls” för 30 år sedan som snarare löpt runt-runt är framåt. Motstridande fakta och observationer möttes för det mesta av negerande eller ignorerande. På sid 18 i Del I skriver SKB stolt **”inga större förändringar av utformning har skett under senare år och av den identifierade uppsättningen av processer som har betydelse”**. Samtidigt har den omgivande forskningsvärlden genomgått genomgripande och revolutionerande förändringar i förståelsen av rådande tillstånd och processer i berget.

2. Fud-processen

Det finns anledning att kritisera Fud-processen i det avseende att remissutlåtanden från universitet och organisationer utanför tillsyningsmyndigheterna fått mycket ringa, om ens något, genomslag i processen. Särskilt allvarligt var det när SKI lät skriva sammanfattningar som inte speglade den verkliga kritik som förelåg i enskilda utlåtande. ”Ingen allvarlig kritik har framförts” skrev SKI ett år, trots att remissen från Stockholms Universitet då innehöll en djup kritik fylld med väldokumenterade fakta. I Milkas remissyttrande 2011 skriver Mörner:

”Jag har skrivit remissutlåtanden över samtliga Fud-program. Redan i min forskningsrapport 1977 (KBS-TR-18) radade jag upp en hel serie förhållanden vad gäller geosfären, vilka alla (och envar) syntes ställa ”ett tillsyningsfritt slutförvar i berggrunden” i tvivelsmål. Det gällde berggrunds rörelser, jordbävningar, kommande istider, permafrost, geoiddeformationer, mm. Företrädarna för New York Academy of Science noterade följdriktigt: **”om Mörner har rätt, håller inte metoden”**. Och man fortsatte **”eftersom Mörner tycks vara ensam om sina synpunkter, så väljer vi att följa majoriteten och anser därför att metoden håller”**. Detta hände för 30 år sedan. Därefter, har jag – på punkt efter punkt – fått rätt. Ändå, har man från SKB:s sida lyckats framhärda i att inga allvarliga problem vidlåder och metoden håller. Men detta är **att negera och nonchalera observationsfakta**. Det var ju just så det inte skulle få gå till. Bevisbördan ligger på SKB – men det kravet kringgår man just genom att negera och nonchalera besvärande fakta. I det sammanhanget har tillsyningsmyndigheten – då SKI – varit alldeles för oengagerad och i vissa fall direkt för flat.”

3. Scenarievalen

Val av scenarier diskuteras under S3.9 (s. 33) och 11 (s. 569). En central fråga, skriver man, är **”att reducera antalet möjliga utvecklingar som skall analyseras genom att välja en uppsättning representativa scenarier”**.

Här, just här, står och faller hela SKB-projektet. Man tillåter sig **”reducera”** och **”välja”** – gör man fel, faller hela projektet. Tillåter man sig – medvetet eller omedvetet – att göra subjektiva val, så öppnar man för missbedömningar och projektsammanbrott.

Jag skall nedan visa att detta just är vad som är fallet. SKB har misslyckats i sin källkritiska bedömning av relevanta variabler, processer och fakta; i fråga efter fråga. Man har tillåtit sig att **”välja och vraka”** i den vetenskapliga informationen. Och, vad värre är, man har konstant valt scenarier som innebär mindre problem och mindre risker, än andra

tillgängliga scenarier som innebär stora, ibland även för stora, problem och därmed ökade risker och även omöjliggörande av KBS-3 metodiken.

"De valda scenarierna bör täcka in alla rimliga framtida utvecklingar", skriver man (s. 34). Men med deras "välja & vraka" handlande blir resultat just det motsatta: man åsidosätter möjliga och även troliga framtida utvecklingar. Det är just här MKB hänsynen havererar.

Man skriver (s. 34) att "det finns krav och riktlinjer". Jag vill hävda att man i så fall åsidosätter dessa.

Vid SKB:s jubileum på Tekniska Museet i Stockholm (25/8-08), tillät sig dåvarande informations chef Saida Laârouchi Engström på en fråga om nya forskningsfakta svara: "SKB behöver inte beakta extrema idéer". It detta fall gällde det på intet sätt "extrema idéer" utan resultat av ett internationellt forskarteam och med gedigen publikation i erkända internationella vetenskapliga tidskrifter efter noggrann fackgranskning (peer reviewing).

Detta föranledde brevväxling med Claes Tegerström (2/1-09) och separat skrivelse till Sveriges Regering och SSM (av 18/3-09; ännu obesvarat).

SKB:s sätt att välja scenarier framgår av Figur 1. I ett spektrum av olika möjligheter och fakta, tar sig SKB friheten att välja och vraka bland dessa. Valet blir subjektivt. Valet faller alltid på scenarier som kan hanteras och inte innebär allvarliga problem för KBS-3 konceptet som sådant. Därvid tar man sig friheten att **åsidosätta** kolossala informationsmängder; även sådan som föreligger publicerad i internationella facktidsskrifter efter peer reviewing.

Detta måste anses vara direkt klandervärt.

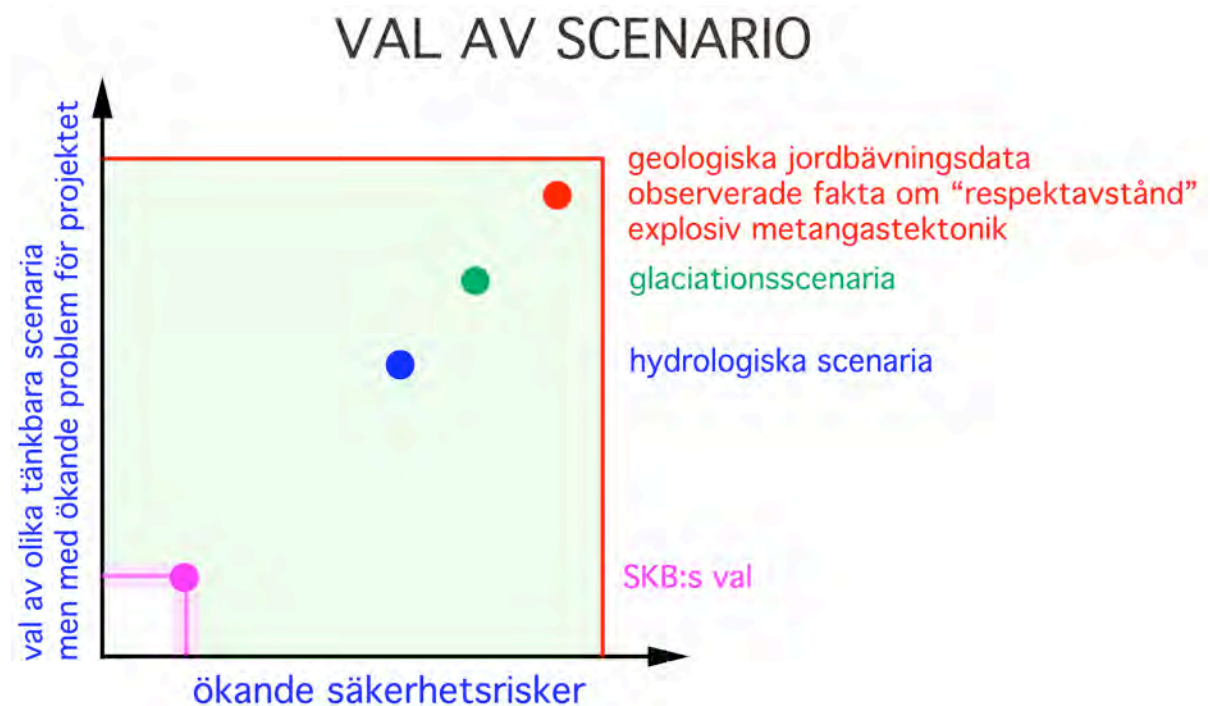
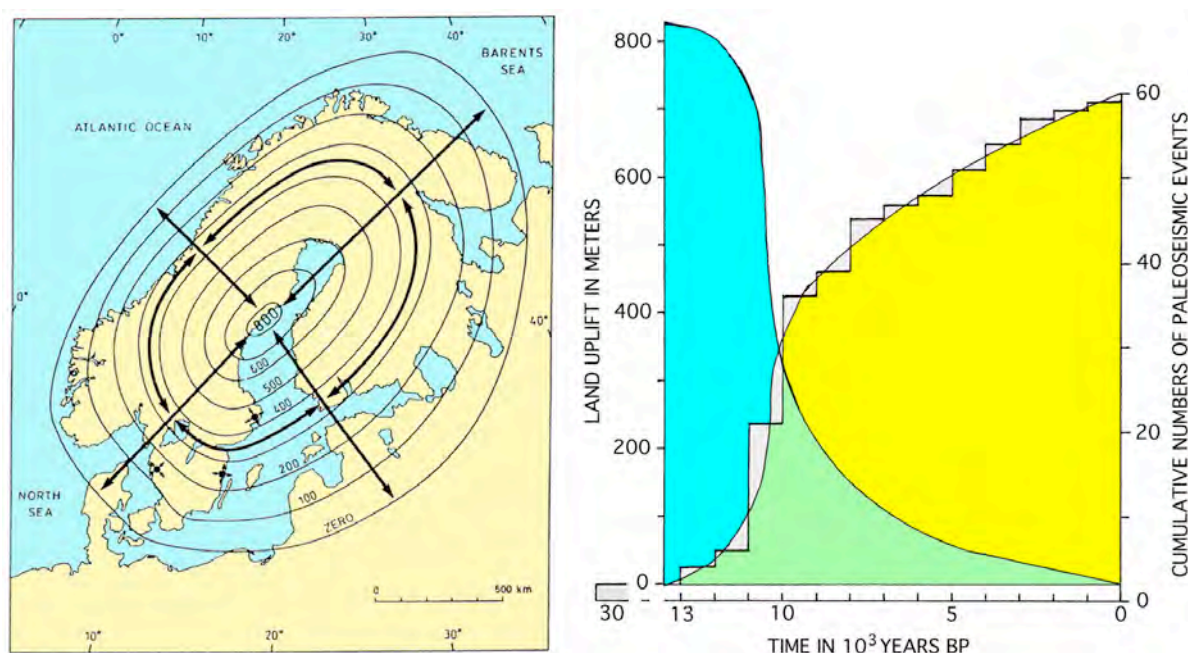


Fig. 1. Val av scenario i olika frågor. SKB gör sitt val, men åsidosätter samtidigt mängder av vital information. Därmed blir säkerhetsanalysen helt missvisande, och man måste säga att den havererar. Detta gäller för fråga efter fråga. Bilden anger några av dessa, vilka behandlas separat nedan i utvärderingen. SKB fokuserar allt intresse på sitt val av scenario – hela den jättelika problem/risk-sektorn utanför lämnas obeaktad; och det gäller fråga efter fråga.

Nedan skall vi visa konsekvenserna av detta sätt att välja ett scenario och åsidosätta andra. Samtliga dessa frågor har behandlats i tidigare Fud-remisser samt i vetenskapliga artiklar och böcker.

3.1. Jordbävningsscenariet

I den speciella Geosphere rapporten (SKB TR-10-48, s. 87) ges en kort beskrivning av jordbävningar i Fennoskandien. Inte med ett ord eller en referens berörs de arbeten som Mörner och hans P&G-grupp gjort. Det är både oförskämt och ovetenskapligt. I detta sammanhang intresserar jag mig bara för det senare. Genom mina arbeten som president för INQUA's Neotectonics Commission of som redaktör för Neotectonics Bulletin (1978-1996) blev jag den som kom att utveckla hela det moderna neotektoniska-paleoseismiska konceptet (vilket är ett välkänt faktum internationellt). Det var jag som först visade att Sverige under isavsmältningsfasen hade varit "ett hög-seismiskt" område. Figur 2a visar min modell från 1991 (*Tectonophysics*, 188, 407-410, 1991) där landhöjningens vertikala och horisontella extensionsrörelser kom att förändra rådande spänningar i berget så att stora jordbävningar utlöstes. Senare kunde jag visa (*Paleoseismicity of Sweden*, 2003; *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 316: 179-188, 2009; *Quaternary International*, 242: 65-75, 2011) att landhöjningens förlopp och jordbävningarnas frekvensfördelning följde varandra väl så som illustreras i Figur 2b.



Figur 2. Relationen jordbävningar och landhöjning. (a) vänster: Mörner's modell för ändrade stressriktningar vertikalt och horisontellt som en följd av landhöjningen (*Tektonophysics*, 188, 1991) och (b) höger: landhöjningens hastighet (blått + grönt) och kumulativ frekvensen av dokumenterade jordbävningar (grönt + gult) enligt Mörner (*Paleoseismicity of Sweden* 2003; *Quaternary International*, 242, 65-75, 2011)

På sid 625 läser vi: "Den största osäkerheten rör frågan om hur ofta jordskalv inträffar under olika tidsperioder. I referensutvecklingen, se avsnitt 10.4.5., beaktas samtliga relevanta uppskattningar av långsiktiga jordskalvsfrekvenser, vilket därmed gjort det möjligt att definiera ett frekvensintervall. Detta frekvensintervall kombineras sedan med intervallet för kritisk placerade kapslar för att slutligen få ett intervall för antalet potentiellt skadade kapslar."

Man påstår sig "beakta samtliga relevanta uppskattningar" – men det är ju inte med sanningen överensstämmande. Man har – precis så som illustrerats i Figur 1 – tillåtit sig utesluta och åsidosätta observationsfakta som inte passar. Detta är minst sagt klandervärt.

Den enda i Sverige som gjort genomgripande och observationsbaserade analyser av frekvensintervall i olika delar av Sverige är undertecknad. Min dokumentation inkluderar 13 jordbävningar under 13.000 år på Västkusten, 14 jordbävningar på 10.500 år i Mälardalen, 5

jordbävningar på 10.200 år i norra Uppland, 7 jordbävningar på 9800 år i Hudiksvallsområdet och 5 jordbävningar på 9500 år i Umeåtrakten.

Allt detta finns noggrant dokumenterat i mina böcker *Paleoseismicity of Sweden* (2003) och *Detta Eviga Avfall* (2009) liksom ett stort antal peer reviewed vetenskapliga artiklar i erkända internationella facktidskrifter som: *The Tsunami Threat; Research & Technology*, InTech 2011, s. 371-388; *Quaternary International*, 242: 65-75, 2011; *IGC 33*, Excursion 11, 2008; *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 316: 179-188, 2009; *Earth Planetary Sci. Letters*, 267: 495-502, 2008; *Tectonophysics*, 408: 265-307, 2005; *Tectonophysics*, 380: 139-157, 2004; *Engineering Geology*, 68: 405-407, 2003; *Quaternary Sci. Rev.*, 19: 1461-1468, 2000.

På sid 469 skriver man: "De postglaciala förkastningarna i norra Sverige är slående exempel på glacialt inducerad förkastningsbildning. Även om det har hävdats att det förekommer sådana förkastningar i mellersta till södra Sverige /Mörner, 1989, 2003, 2004/ har det ifrågasatts om flera av dem verkligen är sådana /SKB 1990, Carlsten och Stråle 2000, Wänstedt 2000, Lagerbäck och Sundh 2008/."

Med de raderna tar man sig friheten att avföra allt vad jag och mitt internationella team vid avdelningen för Paleogeofysik & Geodynamik (P&G) vid Stockholms Universitet (och Forskningsrådet) gjort under ett par decennier.

De referenser man anför mot Mörnergruppens tolkningar är inte fackgranskade. De två arbetena av Carlsten & Stråle och Wänstedt hänför sig till ytliga uttalande om fyra borrhål vilka har föga eller inget att tillföra diskussionen. Det rör sig om "Boda deformationen", en kolossal jordbävning med en magnitud över 8 på Richterskalan (se *Quaternary International* 242: 65-75, 2011) som dokumenterats med ett spektrum av olika variabler och som bland paleoseimikerna hålles som en av världens bäst dokumenterade händelser. Lagerbäck lutar sig på "a short inspection" – men på det sättet bedriver man inte seriös forskning. Lokalen har besökts av ett 100-tal av världens främsta forskare vid stora internationella exkursioner (1999, 2008, 2011). Som ett led i "Boda projektet" höll P&G-gruppen år 2000 en två dagars exkursion för SKB i området. Professorerna Talbot (tektonik) och Slunga (seismologi) var avdelade att kontrollera fakta. Båda var mycket positiva. Talbot skrev en rapport till SKB där han gav oss rätt i att här förelåg en stor postglacial förkastning med dithörande jordbävning. SKB förtiger detta.

I mars 2006 hölls ett tvådagars seminarium i Oskarshamn om "Jordskalv i slutförvar för kärnavfall" (dokumenterad i en 91 sidig med Kaj Nilsson som redaktör). I den avslutande sammanfattningen säger Kjell Andersson: "**Men idag tycker jag vi kommit fram till att det vore idé att lägga in hans data i säkerhetsanalysen också**" (hans = Mörners). Och vad gör SKB? – motsatsen; håller mina data utanför analysen.

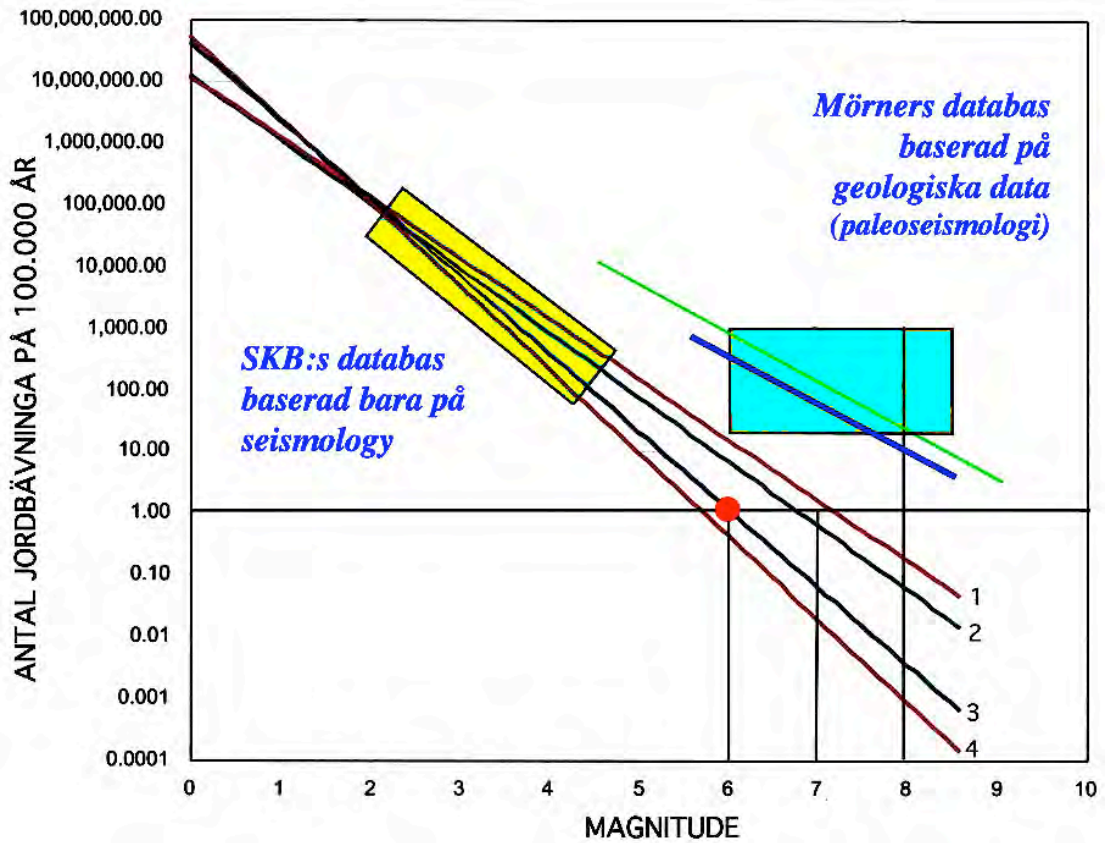
SKB har i hela hanteringen av jordbävningsscenario uppvisat ett fullkomligt oacceptabelt arbetssätt, som strider mot vedertagen forskningsetik och går stick i stäv mot de direktiv som angetts för MKB-processen.

Genom detta förfarande låter man en jättesektor inom potentiella risker förbli obeaktat, just på det sätt som illustreras i Figur 1. Bara detta räcker, i mitt tycke, för att SKB ansökan måste anslås.

Vad innebär detta rent praktiskt? SKB baserar sitt jordbävningsscenario på dagens seismologiska information (gul box i Figur 3) och hävdar att den maximala jordbävningen under 100.000 år bara kan vara 1 jordbävning av magnitud 6.

Om man i stället utgår från vår geologiska databas (blå box i Figur 3) så kan man vänta sig ett 1000-tal jordbävningar på 6, ett 100-tal på 7, ett 10-tal på 8 och några på 9. Detta är en oerhörd skillnad – 1000 miljarder gånger mer energi i Mörners system än i SKB:s under 100.000 år. En sådan skillnad kan man inte åsidosätta och ignorera i en seriös MKB analys.

Båda systemen har sina osäkerhetsområden. Detta åskådliggörs i Figur 4. SKB:s seismiska databas kan ge maximum värden från 5,5 till 7,2 under 100.000 år. Mörners geologiska (paleoseismiska) databas ger maximum värden mellan 7 och väl över 9 under 100.000 år. Den totala osäkerheten i båda systemen tillsammans (röd dubbelpil i Figur 4) spänner från 5,5 till 9,5 under kommande 100.000 år.



Figur 3. SKB:s (gul) respektive Mörners (blå) seismiska databaser.. Röd prick anger SKB:s maximala jordbävning under 100.000 år. Mörners geologisk databas ger många och stora jordbävningar under samma tid.

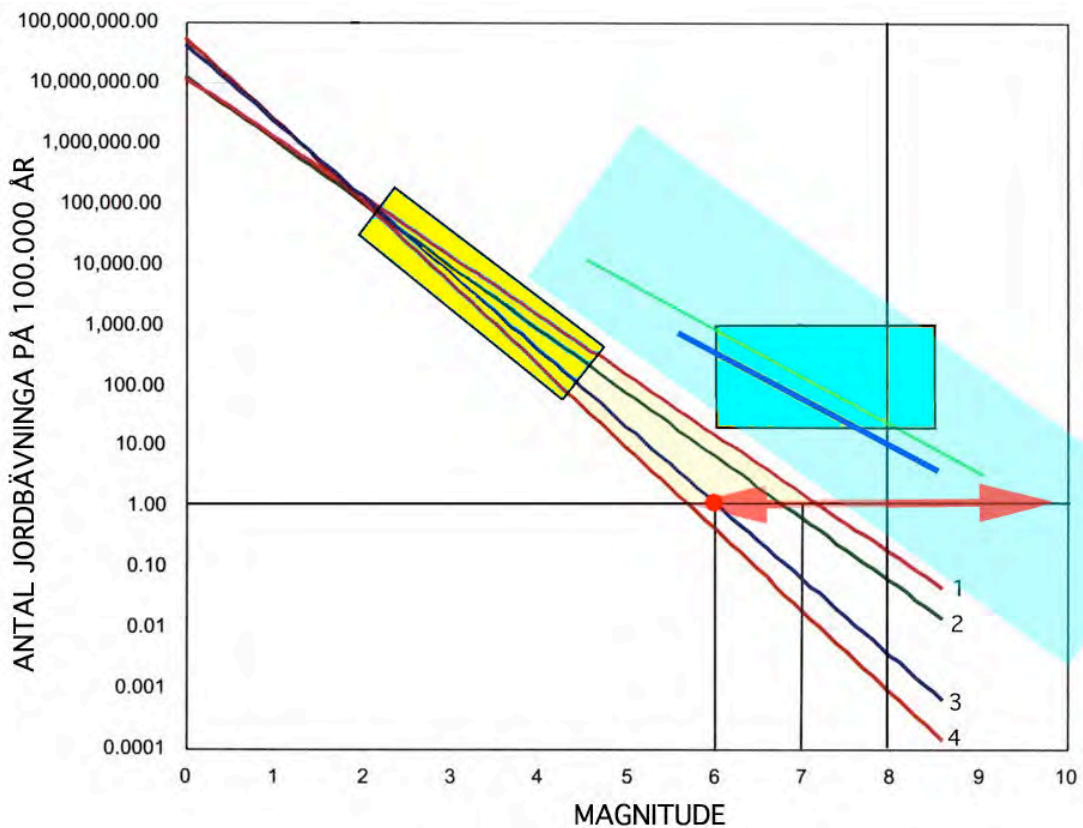


Fig. 4. Båda databaserna i Figur 2 har sina osäkerhetsfält. Det gula fältet får en spridning efter 100.000 år från 5,5 till 7,2 (1-4), medan det blå fältet får en spridning från 7,3 till 9,5 som får anses som teoretiskt maximum. Den gemensamma osäkerheten anges med röd pil

Med en så kolossal osäkerhet, kan man naturligtvis inte göra några meningsfulla prognoser. SKB har löst problemet med att utesluta hela den geologiska databasen och även en stor del av den seismiska basen, så att det bara kvarstår en linje (markerad 3 i Figur 3) och en prick för 1 jordbävning av magnituden 6.

Så får man naturligtvis inte gå tillväga. Om det är ett sätt att driva och söka premiera den egna produkten, så har det själfallet inget att göra i en seriös säkerhetsanalys.

3.2. Idén om ett säkert ”respektavstånd”

Begreppet ”respektavstånd” används av SKB och åsyftar det avstånd från regionala förkastningslinjer och krosszoner som kärnkraftskapslarna kan placeras med bevarad säkerhet. Medan SKB anger distansen till 50-100 m, så hävdar jag att man måste tala om många kilometer (*Detta Eviga Avfall*, s. 44; *Engineering Geology*, 61: 74-82, 2001; *Quaternary International*, 242: 65-75, 2011).

Ju längre ”respektavstånd” man måste räkna med, desto svårare blir det att inrymma alla kärnavfallskapslarna i ett slutförvar. Ett ökat respektavstånd omöjliggör snabbt ett KBS-3 förvar på det sätt som framläggs av SKB (t.ex. Figur 5-6, 10-117).

Låt mig därför citera vad jag skriver i *Quaternary International* (242: 65-75, 2011):

Whilst geologists usually are well aware of the fact that bedrock fracturing and lateral or sympathetic faulting may occur over a large area around the primary faults (e.g. Serva, 1995; Mörner, 2003), nuclear power organizations seem to prefer to neglect such facts and to claim little or no deformation away from a fault. So for example, do Bäckholm and Munier (2002) claim that a M 8.2 earthquake can only displace the bedrock by 7 cm 1 km from the fault, which the Swedish nuclear industry uses as base for their claim that nuclear waste canisters can be stored (safely for 100,000 years) as close as 50-100 meters from a regional fracture zone.

In the case of the 10,430 vBP event, an 8 m fault displacement is recorded at a distance of 1 km from the main fault (Fig. 4A), and fractured bedrock was documented in a wide zone of 50x100 km south of the fault.

At the 9663 vBP event the bedrock fracturing extends over a zone of 50x50 km. The heavily deformed Boda Cave site is located 12.5 km from the epicentre (Fig. 4B).

At the 4800 BP event a sympathetic fault moved 1.1-1.4 m. It is located 6 km from the main fault.

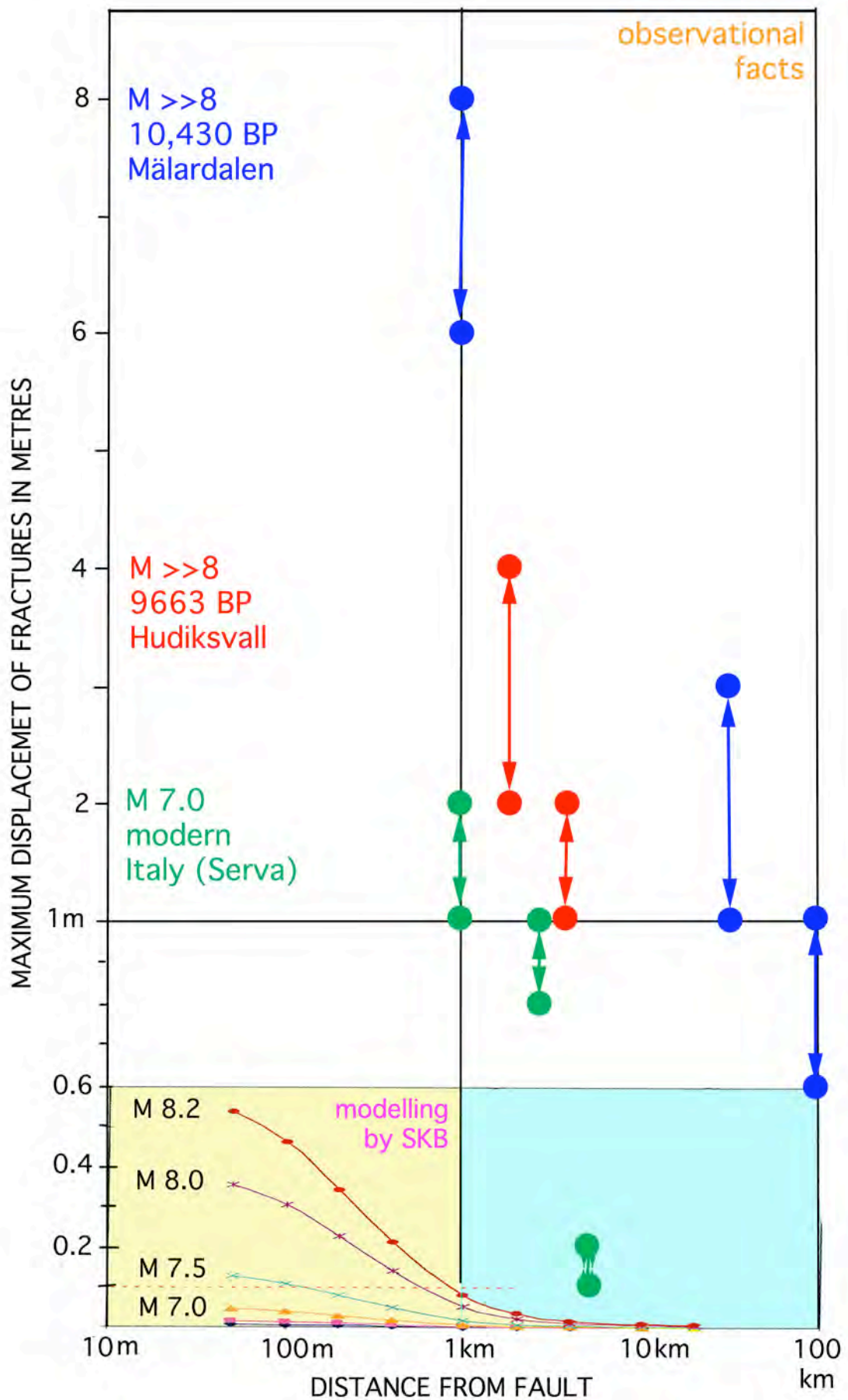
Even at the 3000 BP event, some previously glacially polished rock moutonne hills were heavily fractured into pieces (Fig. 4 C).

These observational facts are in total opposition to the claims of Bäckholm and Munier (2002) and Munier and Hökmark (2004). This has, of course, severe practical implications with respect to long-term nuclear waste handling (e.g. Mörner, 2001) where the Swedish-Finnish concept of a closed repository at 500 m depth in the bedrock calls for a long term stability of “at least 100,000 years (in Sweden) and “up to 1 million years” (in Finland). Seismic hazard assessment (Fig. 1) has, by that, been forced to face predictions that we are really not capable to give (i.e. “in absurdum”; Mörner, 2001).

I Figur 5 jämförs SKB:s teoretiska modell (gult fält) med faktiska observationer vid skalv i Italien och i Sverige. Skillnaden är kolossal, och det är just därför som jag hävdar att ett verklighetsbaserat respektavstånd måste sätta till många kilometer, kanske 10-tals km.

Det är sant att de skakningsinducerade deformationerna ökar mot ytan, men samtidigt gäller faktum att de geologiska förskjutningarna ökar mot djupet (epicentrum).

Trots upprepade påpekanden om att ”respektavståndet” måste revideras, har SKB envist och utan djupare diskussion hängt kvar vid sitt påstående att detta kan sättas till ”50-100 m”. Jag har det (*Detta Eviga Avfall*, s. 44) för: ”tomt prat”, ”en geologisk oförskämdhet”, ”en vidlyftig desinformation” och ”ett falsarium”. Vare därmed hur som helst, vi kan dock konstatera att begreppet används minst sagt vidlyftigt och att det öppnar för kolossala framtida risker (just så som illustreras i Figur 1). En genomgripande revision är påkallad.



Figur 5 "Respektavståndet": Jämförelse i förskjutning (y-axel) med distans från en förkastning (x-axel) enligt SKB:s teoretiska modell (gult fält) och verkliga observationsfakta i naturen för en M 7.0 jordbävning i Italien (grön), M >>8 jordbävningen 9663 vBP i Hudiksvall (röd) och M >>8 jordbävningen på hösten 10.430 vBP i Mälardalen (blå).

Vi vill påpeka att ett ökat respektavstånd omgående äventyrar hela slutförvarskonceptet i Forsmark, eftersom det snabbt inte blir tillräckliga deponeringsvolymmer kvar för ett slutförvar. Ett ringa respektavstånd – som synes strida mot allt vi vet om berggrundssprickor – synes vara en direkt förutsättning för möjligheten att bygga ett slutförvar vid Forsmark.

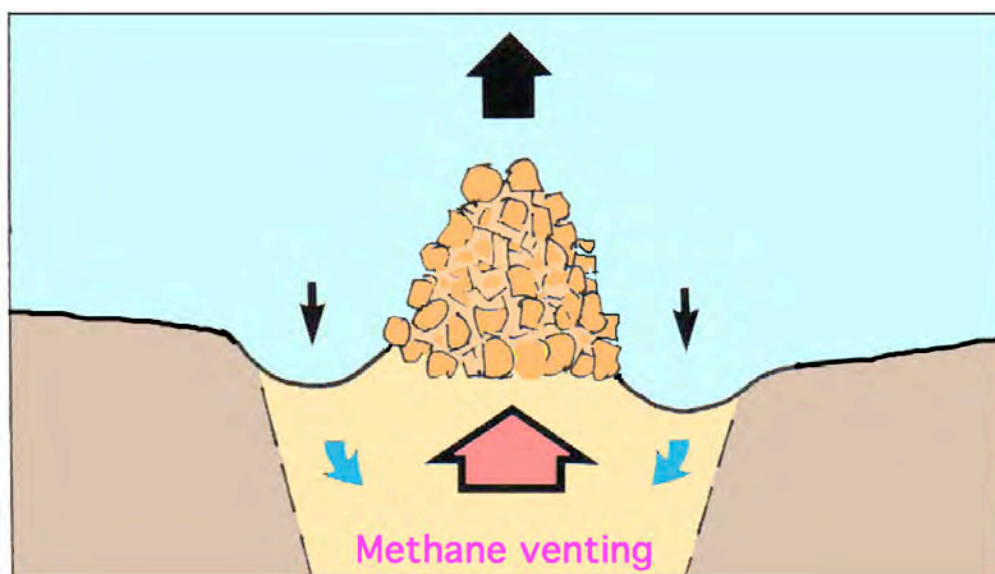
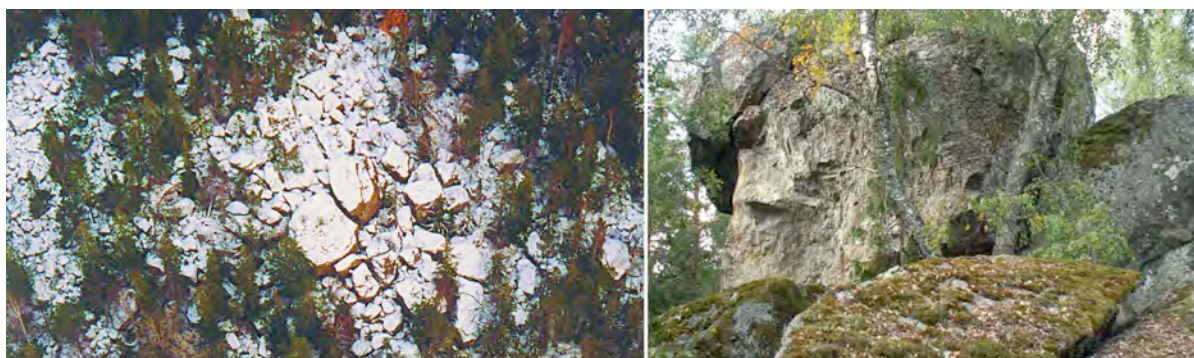
3.3. Metangastektonik

Explosiv metangastektonik är något som SKB inte beaktat, trots påpekanden i Fud granskningar, vid Jordbävningseminariet 2006 och i publikationer (*Paleoseismicity of Sweden* 2003; *Detta Eviga Avfall* 2009; *Quaternary International*, 242: 65-75, 2011).

I Geosphere rapporten (s. 206) behandlas metanhydrat men utan att tektoniken diskuteras eller våra arbeten nämns. SKB bör lära sig att man, i en säkerhetsanalys, inte har något att vinna på att åsidosätta besvärande resultat speciellt om dessa föreligger publicerade i internationella facktidskrifter efter peer-reviewing. Deras geotermala gradient är 100% fel.

Professor Alf Björklund (1990) var den förste att föreslå att metanavgång kunde orsaka bergsdeformationer. Inte förrän i samband med P&G-gruppens arbeten i Hälsingland, kunde jag övertygande visa att avgång av metangas skett vid de stora jordbävningarna 9813 och 9663 vBP (varv-år före idag).

Vid Boda grottorna syntes den seismiska deformationen även vara kopplad till metangastektonik, och det fanns goda skäl att förmoda att den seismiska tryckvågen inducerat en explosiv fasövergång av metanis nere i berget till metangas som strävade uppåt/utåt med en volymsökning från 1 till 168.



Figur 6. Modell för explosiv metangastektonik (enligt Mörner, 2003) och två exempel på iakttagna deformationer i naturen; Skålboberget norr om Hudiksvall (uppe till vänster) och Kvarnberget NV om Nynäshamn (uppe till höger).

Vid Skålboberget strax norr om Hudiksvall föreligger en mycket stor bergsdeformation: en 20 m hög kon av jättelika block omgiven av en cirkulär depression (*Paleoseismicity of Sweden*, s. 105-109). Eftersom blocken överlagrar strandmaterial från 3200 BP, så måste deformationen vara yngre; dateringar anger 2000 BP. Deformationen orsakade en 20 m hög tsunamivåg (*Paleoseismicity of Sweden* 2003; *Geol. Soc. London*, Spec. Publ. 316: 179-188, 2009; *The Tsunami Threat: Research & Technology*, p. 371-388, InTech 2011; *Quaternary International*, 242: 65-75, 2011).

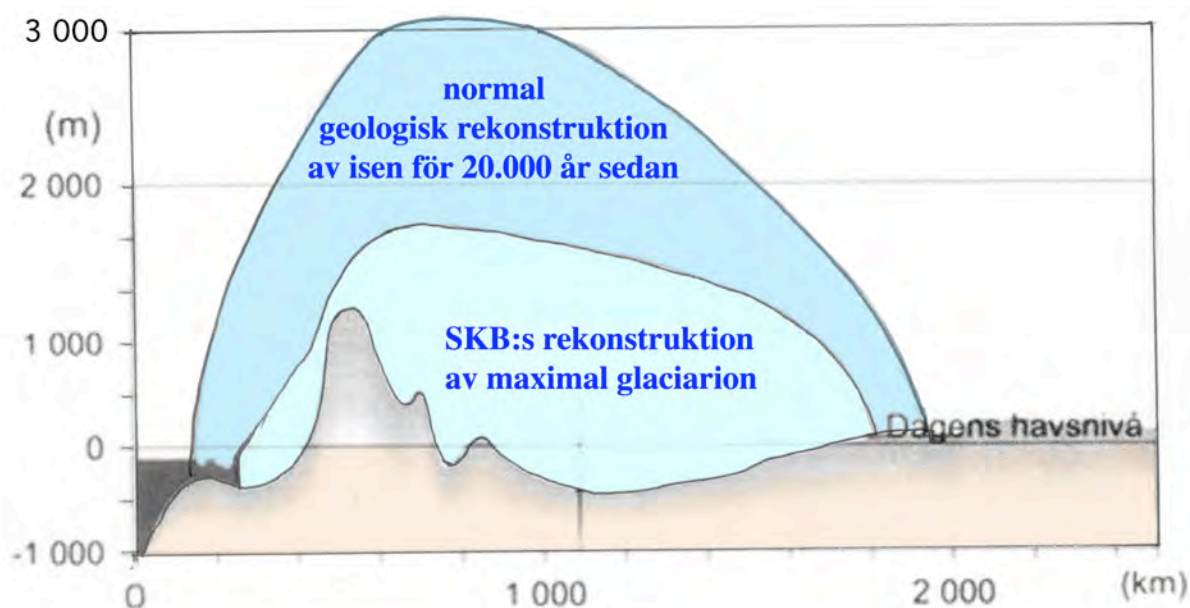
Vid "Second International Conference on Granite Gaves" (2011) kunde Mörner och Sjöberg visa en nyfunnen lokal utanför Nynäshamn (Svenska Grottor Nr. 12, 1-27, 2011).

Explosiv metangas-tektonik går tillbaka på faktum att metan kan förekomma i 2 faser (se *Detta Eviga Avfall*, Fig. 19 eller *Quaternary International*, Fig. 12); som is (hydrat) och som gas där 1 liter is motsvarar 168 liter gas. Fasen bestäms av rådande tryck och temperatur. Metangas är vanligt förekommande även i vårt urberg (se not om Dannemoragruvan, nedan), speciellt i krosszoner. Vid permafrost och täckand iskappor är det rimligt om gas ansamlas i sprickor och håligheter i berget och övergår i metanis. När sedan temperatur och tryck minskar flippar isen över i gasfas som måste uppåt/utåt och som därför får explosiv verkan. Detta illustreras i Figur 6.

Explosiv metangastektonik är en process som kunde definieras först år 2000. Ett flertal lokaler har identifieras från Edsbyn i norr till Nynäshamn i söder. Denna form av tektonik synes vara svår till omöjlig att förutsäga. Därför ställer den naturligtvis till stora bekymmer för SKB och ett långtida förvar nere i berget. Att, i det läget, välja att inte ens beakta detta, är att inte sköta sin uppgift på sätt som en allsidig MKB-analys fordrar.

3.4. Glaciationsscenariet

För jordens storskaliga klimatutveckling finns det ett mycket nära samband mellan Milankovitch's astronomiska parametrar och jordens faktiska klimatutveckling (även om själva mekanismen för denna korrelation ännu förblir något av en "black box"). Därmed har man ett instrument som tillåter tidsmässigt mycket exakta förutsägelser om kommande storskaliga variationer i klimatet. En sådan analys ger vid handen att vi kommer att passera



Figur 7. SKB:s modell av det istäcke som för 20.000 år sedan hade sin maximala utbredning över Skandinavien (s. 212) är fullkomligt felaktig. Varje geolog med självaktning vet att isens tjocklek måste ha varit ca 3000 m. Detta är ett mycket grovt fel vittnande om djup okunskap i ämnet.

nya glaciationssskeden **om cirka 5000, 23.000 och 70.000 år** (med tilltagande storleksgrad). Just detta framhölls av Ahlbom et.al. i SKB-TR-91-32, 1991. Vart har den nu tagit vägen? Det rör sig inte alls om ”en upprepning av förhållanden som rekonstruerats för den senaste glaciala cykeln”. Beskrivningen är med andra ord undermålig. En helt annan sak är att vi kan lära oss mycket av förhållandena under de olika glaciationssskedena som följde på den senaste interglacialen (runt 130 Ka) – om vi så önskar, vilket SKB inte tycks göra när det gäller variationer i jordbävningsaktivitet, geoid-deformation och metangastektonik (se *Detta Eviga Avfall*, 2009, Fig. 20; *Engineering Geology*, op.cit., 2001).

I Figur 6-3 (s. 212) får vi en rekonstruktion av olika glaciationssskeden. Den bild som avser ”maximal utbredning” (för ca 20.000 år sedan) saknar all relation till verkligheten: isens mäktighet anges till runt 1800 m. Enligt ganska samstämmiga geologiska värderingar måste isen ha varit ca 3000 m tjock (på sätt som illustreras i min omritade bild; Figur 7).

I Figur 10-98 (s. 445) transformerar SKB sin schablonbild av glaciationsutvecklingen under de senaste 120.000 åren till att prediktera kommande 120.000 år. Detta är ett mycket riskfyllt och subjektivt sätt att arbeta. Deras schablonbild passar utomordentligt illa med vår kunskap om glaciationsutvecklingen i Fennoskandien enligt geologiska vittnesbörder i naturen. Om man korrigerar för detta, får man en framtidsbild (Figur 8), som ger en helt annan utveckling än den som SKB ger.

De olika glaciationscyklerna är på intet sätt lika. De styrs av Milankovitch's astronomiska parametrar. Därför kan man förmoda att kommande glaciationscykel är ganska olik den vi just passerat. Just för att söka ta detta i beaktande gjorde Ahlbom et.al. sin analys åt SKB och Posiva av situationen (SKB-TR-91-32, 1991). Om man tar hänsyn till deras rapport, skulle en framtida prognos se ut ungefär så som visas i Figur 9.

Jag inkluderar Figur 8 och 9, inte för att visa hur det måste bli, utan för att dokumentera den kolossala osäkerhet som vidlåder dessa prognoser. Det klandervärdiga i SKB:s handlande är att man inte påvisar dessa osäkerheter och alternativa möjligheter – för det är ju just det en seriös miljökonsekvensbeskrivning borde göra.

I stället väljer SKB – helt i linje med vad som illustreras i Figur 1 – att välja ett scenario och frånsä från alla andra. Valet gör att det blir enklare för SKB att hävda sina mål. Vrakandet gör att problem och risker gravt undervärderas. Detta är naturligtvis direkt klandervärdigt.

Om man jämför SKB:s bild (Figur 10-98) med dessa två alternativa prognoserna (Figur 8 & 9) så är ju skillnaderna kolossala. Att ensidigt välja ut ett scenario och förtiga övriga möjliga scenarier rimmer mycket illa med de krav man måste ställa på en seriös MKB analys. Under alla omständigheter måste SKB:s prognos anses ge en så svag bild att den inte går att basera några kalkyler eller beslut på; mycket tyder på att den är grovt missvisande.

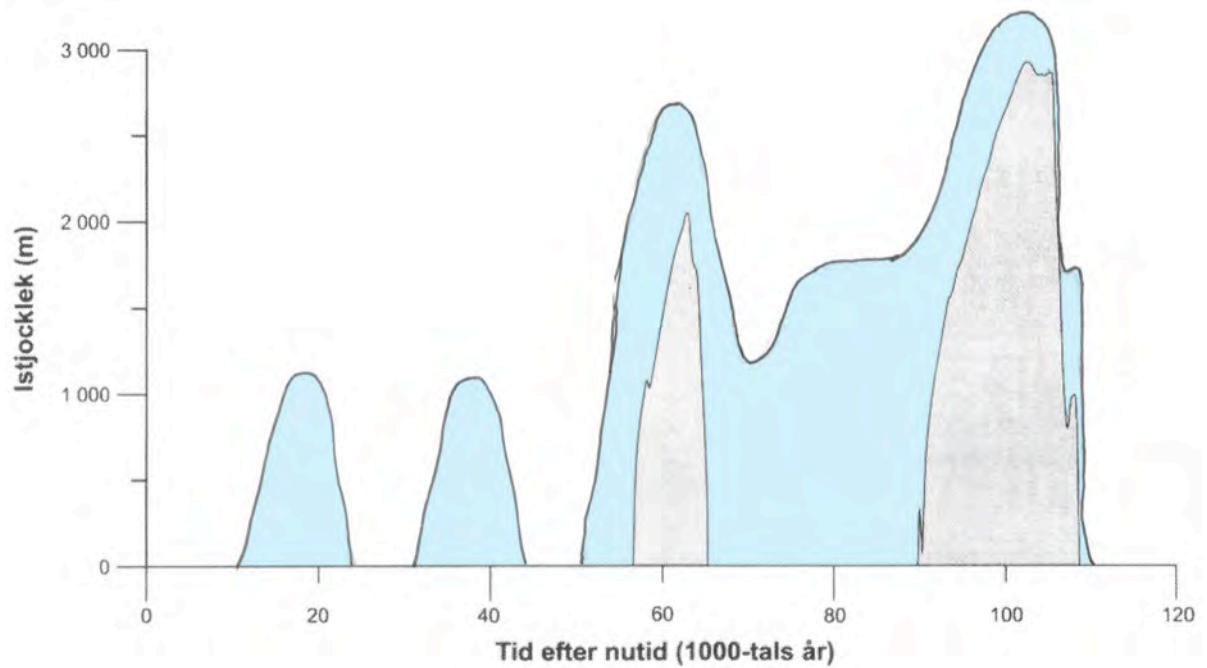
På undanskymd plats i Climate rapporten (SKB TR-10-49) finns en prognos (Fig. 5-17) över, vad man kallar ”extended ice sheet”, som är snarlik den ”geologisk bild” som ges i Figur 8).

I Climate rapporten (SKB TR-10-49) behandlas ”Global warming case” (5.1, s. 217) och ”Extended global warming case” (5.2, s. 234). Här borde man ha varit mycket mer kunniga och öppna för frågans djupa komplexitet och problematik. Genomgående lyser det igenom att man helt enkelt är för okunniga i frågan. Därför blir den ytterst skevt behandlad. Det blir närmast en hyllning till IPCC men man skyr inte ens för att som sina auktorer välja mycket extrema forskares påståenden (t.ex. Rahmstorf).

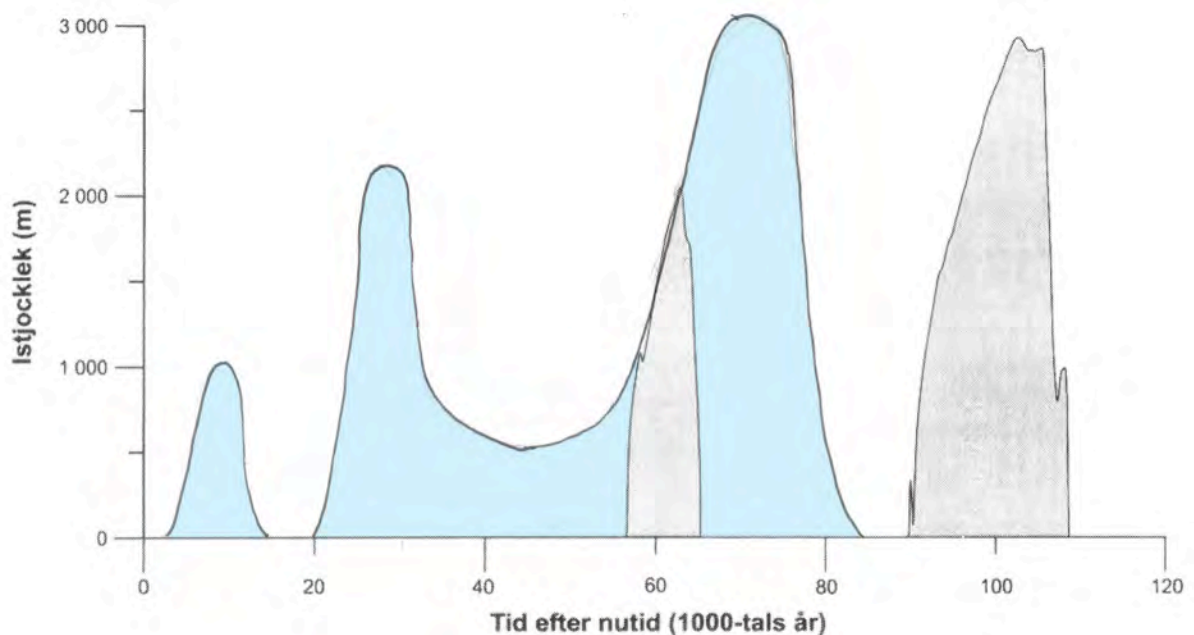
Om det skulle föreligga en antropologisk CO₂ effekt, så kan den bara utgöra 1/3 eller 1/4 av uppmätta 0.8 grader C uppvärmning under 1900-talet, vilket är ringa (0,2–0,3 °C). Vid varje ytterligare ökning med 100 ppm CO₂ – i enlighet med fysikens lagar – blir effekten bara hälften av tidigare effekt. Räknat på detta – fysikaliskt riktiga – sätt blir effekten ringa.

”Extended global warming” (Fig. 5-16, 5-36) blir i det läget rent utopiskt och närmas en ren desinformation.

Vad som säges om havet (s. 236-237) är närmast löjligt och i grunden okunnigt, vilket jag som specialist i ämnet härmed vidimerar. Man borde läsa Chapter 6 i ”*Evidenced-Based Climate Science*” av Easterbrook (Elsevier, 2011). Deras kapitel måste underkännas.



Figur 8. Prognos för kommande glaciationer om man utgår från föregående glaciationscykel ur ett geologiskt observationsperspektiv (blått), i stället för SKB:s modellperspektiv (grått).



Figur 9. Prognos för kommande glaciationer om man utgår från Milankovitch's variabler för kommande 120.000 år på sätt som gjordes av Ahlbom et.al. 1991 (SKB-TR-91-32).

3.5. Hydrologiscenariet

Hydrologin är en annan stor och fundamental fråga. Jag har diskuterat vissa delar i tidigare Fud-remisser, i KBS-TR-18 (1977) och *Engineering Geology* (61: 74-82, 2001) vilka inte beaktats av SKB. Viktigast är geoid-konceptet, vilket innebär att grundvattnet vid glaciationers tillväxt och maximalutbredning strävar uppåt mot den då förhöjda geoidytan. Detta innebär alltså en reverterad strömning mot vad som gäller idag.

Här kommer även grundvattnets salthalt in i bilden. Professor Alf Björklund i Finland visade för länge sedan att salthalten i leror och berg mycket väl följde typen av under-

liggande berg (förhöjd salthalt över lättvittrat berg). Därav drog han slutsatsen att salthalten speglade undergrundens berg och vittringsegenskaper. Detta i sin tur visar att grundvattnet måste ha rört sig uppåt – vilket kan synas strida mot naturlagarna, om man bortser från det faktum att geoiden deformeras med kommande och vikande glaciationslaster (se bild i *Engeneering Geopogy*, op. cit. och *Detta Eviga Avfall*, s. 53).

Ett annat fenomen som inte diskuterats i SKB:s ansökningshandlingar är att vattentrycket kan öka mycket kraftigt även på stora djup i berget vid stora jordbävningar inte bara i närområdet utan även i avlägsna orter. Självfallet är detta av utomordentligt stor betydelse för ett förvar av KBS-3 typ nere i berget, inte minst för bentonitmaterialet och internmiljön runt kapslarna.

3.6. Slutsatser om scenarievalet

Nästan varje annan delfråga kan analyseras på ett liknande sätt och om och om igen finner man att valen gjorts på sätt som illustreras i Figur 1. Denna metodik är oförenlig med en seriös MKB handläggning.

Jag har ovan givit några minst sagt skrämmande exempel på hur man tillåtit sig välja och vraka mellan olika scenarier (Figur 1) och vilka förödande konsekvenser detta fått i en rad fundamentala frågor på vilka KBS-3 metodens hela funktion; vara eller inte vara.

4. BAT och alternativen

Med BAT avses "bästa tillgängliga teknik" i bemärkelsen "bästa tekniskt möjliga lösning", utan snegling på företagsekonomiska aspekter. Inte heller får BAT tolkas som "bästa teknik som sökande förfogar över". Distinktionen är ytterst viktig med tanke på de tidsrymder som ett förvar för använt kärnbränsle sträcker sig över. Kortsiktiga besparingar får inte tillåtas äventyra framtida generationers levnadsvillkor.

Den s.k. KBS-3 metoden är ett arv från 70-talet. Då fastlades de idéer och åsikter som kom att drivas vidare genom åren – trots att de ursprungliga "grundförutsättningarna" blev föråldrade och upphörde att gälla. Regeringen har ställt krav på att SKB skall utreda alternativen. Denna alternativredovisning har varit mycket mager och är så även denna gång. Därmed uppfyller man inte redovisningsskyldigheten vad gäller "bästa möjliga teknik" och inte heller "bästa lokalisering". Att man själva hyllar sin egen metod kanske inte är så förvånande. En MKB utredning vänder sig dock till beslutsfattarna och de måste ges en oinskränkt rätt att kunna bedöma alla tillbuds stående alternativa metoder.

SKB har genomgående under de 30 år som förflutit behandlat andra till buds stående alternativa metoder på ett synnerligen begränsat och ensidigt sätt. Bara ett mål synes ha förelegat; att hävda tesen att det bara finns en enda metod, nämligen deras egen.

Jag vill med bestämdhet hävda att KBS-3 metoden inte uppfyller BAT-kraven. Jag har ovan visat att den prestanda som SKB i sin ansökan ger KBS-3 metoden inte håller när man vidgar ramarna att inkludera andra högst relevanta fakta, omständigheter och processer.

I det läget måste man beakta alla andra tillbuds stående alternativ. SKB:s bedömningar av alternativen är mycket mager, subjektiv och i stora delar felaktig.

De två huvudalternativen är "Djupa borrhål" och "Dry Rock Deposit" (DRD). Om man till varje pris och oåterkalleligen vill bli av med avfallet bör man beakta alternativ "Djupa borrhål". Om man däremot vill bevara handlingsfriheten och tillgängligheten (för reparation och kontroll, såväl som återanvändning) men samtidigt hålla avfallet tryggt bevarat i berget, så väljer man DRD-metoden.

4.1. Djupa borrhål

Detta är ett viktigt och intressant alternativ som bör utredas vidare, speciellt vad gäller själva tekniken för borrhål och deponering. Det bör uppmärksammas att detta alternativ även

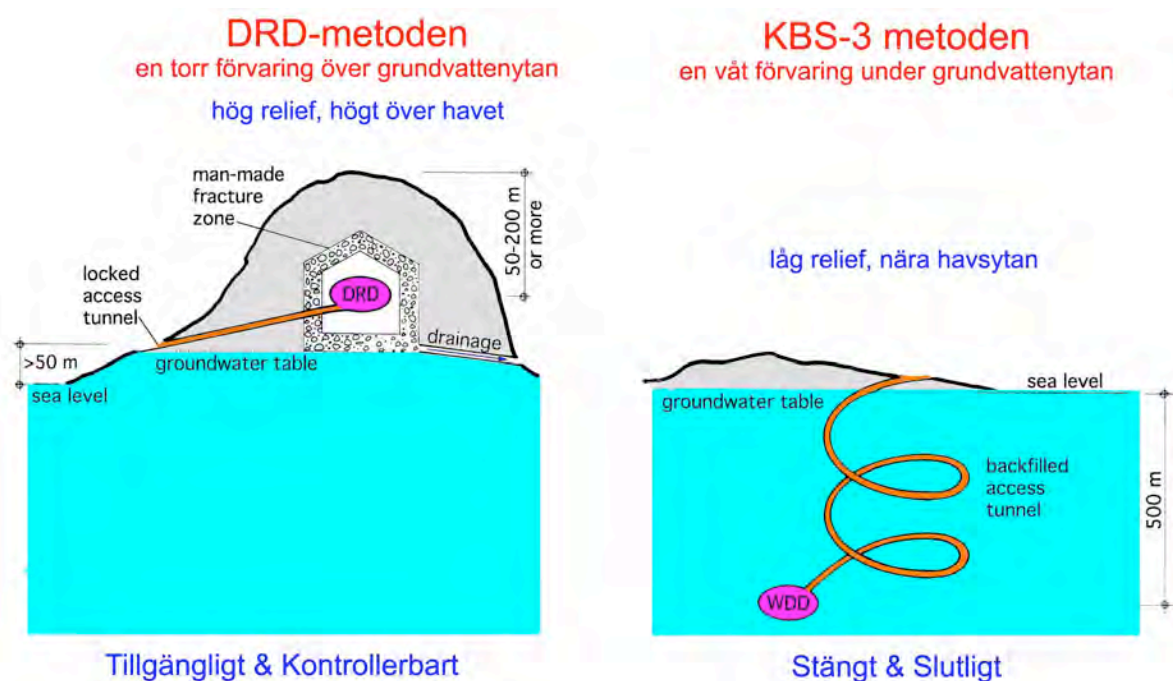
skulle kunna vara intressant för deponi av mindre restprodukter efter transmutering eller uppgraderade reaktorer.

4.2. DRD-metoden

Från Stockholms Universitet och Milkas har ofta framhållits att **DRD** (Dry Rock Deposit) måste utredas och ges medel för en adekvat presentation (DRD, 1999). Ett sådant krav har även tillställts Sveriges Regering (18 mars 2009, 1 mars 2010). En större ansökan ingick 1999 till SKI, men avslogs (efter utlåtande från SKB och TVO). Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM) behandlar alternativfrågan (SOU 2007: 38). DRD-metoden förekommer som två underalternativ (C2 och C3) under alternativ C–nollalternativ. Som ”nollalternativ” diskuterar SKB bara ”ett förlängt Clab”. Alternativen C2 och C3 enligt SOU 2007:38 behandlas inte som alternativa ”nollalternativ”. Enligt Miljöbalken skall även ”nollalternativ” redovisas.

DRD står för Dry Rock Deposit. Metodens grundprincip är att en bergmassa omges av artificiella krosszoner, vilket får till följd att bergmassan innanför dräneras och blir en torr bergmassa. Inuti denna torra bergmassa byggs själva förvaret (gångar, tunnlar eller schakt). Figur 10 ger en principskiss av skillnaden mellan ett DRD och ett KBS-3 förvar. Samtidigt som de omgivande krosszonerna tillförsäkrar en torr berggrundsmiljö, så får dessa även en god positiv effekt vad gäller eventuella jordbävningar.

I ett DRD förvar förblir avfallet tillgängligt för kontroll, reparation, användning och även flyttning. Detta innebär utomordentliga fördelar – som ingen annan metod kan konkurrera med. Dessutom är den avsevärt mycket billigare (kanske bara 1/3-1/4 av KBS3-kostnaden). Vad är då negativt? – Bara 1 sak: att metoden ännu inte tillåtits få en adekvat beskrivning.



Figur 10. Jämförelse mellan ett torrt DRD förvar och ett vått KBS-3 förvar (från Cronhjort & Mörner, 2004; även *Detta Eviga Avfall*, sid. 54). Medan ett KBS-3 förvar måste lokaliseras till kusten, så kan ett DRD-förvar placeras i inlandet.

Ett DRD förvar kan utformas på många olika sätt:

- 1 – som ett ”förlängt mellanlager” (C2 i SOU 2007:38)
- 2 – som ett ”mellanlager i väntan på bättre teknik” (C3 i SOU 2007:38)
- 3 – som ett säkert förvar fram till nästa istid (huvudalternativet för DRD-gruppen)

- 4 – som ett adekvat långtidsförvar i Åsen-Ivö området (*Detta Eviga Avfall*, sid 76)
I förhållande till SKB:s handlingsplan skulle DRD metoden kunna utnyttjas i flera fall:
- a – ersätta Clab (som har ringa säkerhet): punkt 1 (C2) ovan
 - b – ersätta KBS-3 metoden: punkt 3 och 4 ovan
 - c – ersätta BFA-lagret (som måste anses helt undermåligt) – punkt 2, 3 och 4 ovan
 - d – tjäna som modell för ett SFL förvar – punkt 2, 3 och 4 ovan

DRD-metoden, så som dess upphovsmän designat och patenterat den, utgör en deponi nere i berggrunden, i rum eller tunnlar som omgives av artificiella krosszoner för dränering (och jordbävningsskydd). Om SKB (och SKI) nekar DRD-metoden en adekvat beskrivning och presentation, så ger det inte dem rätten att förvanska konceptets idéer. Naturligtvis är det inte frågan om ”övervakad lagring”. Det är SKB:s påhitt för att ställa metoden åt sidan. Det framstår som närmast skamligt att adekvata medel inte tilldelats DRD-gruppen för en allsidig och adekvat beskrivning av metoden i alla dess olika funktioner och utformningar.

Det finns bara en naturlig och logisk handling att föreslå och fordra (se skrivelser till Miljödepartementet & SSM av 2010-03-01 och 2009-03-18); nämligen att DRD metoden ges medel för en adekvat beskrivning (i alla dess olika former) så att den därefter kan diskuteras, analyseras och rättvisande bedömas.

5. Forsmark och alternativen

Lokaliseringen av tilltänkta slutförvar till Forsmark, innebär att denna plats skulle erbjuda de bästa tänkbara förutsättningarna för en säker deponi i berget enligt KBS-3 metoden. Men är det verkligen den bästa platsen? Vi vill hävda att så inte alls är fallet.

Jag har visat två platser med utomordentligt mer fördelaktiga förutsättningar (i *Detta Eviga Avfall*, s. 68).

Forsmark ligger mitt i en flera km bred ”skjuvzon”, d.v.s. en bred zon som övertvåras norra Uppland i NV–SO-lig riktning och som är dominerad av horisontella förskjutningsrörelser i berget. På en sådan plats är det närmast direkt olämpligt att lägga ett slutförvar. På 90-talet kom förslag till IAEA från italienska experter att kärnkraftreaktorer aldrig borde placeras i skjuvzoner. Ätter värre borde det därför vara att förlägga ett slutförvar där.

SKB talar om förekomsten av stabila linser. Men det är ett koncept som både kan och bör ifrågasättas.

Professor Herbert Henkel, en av vårt lands främsta geofysiker, har hävdade att förkastningen vid Forsmark är aktiv och har rört sig efter istiden. Detta diskuteras inte ens av SKB.

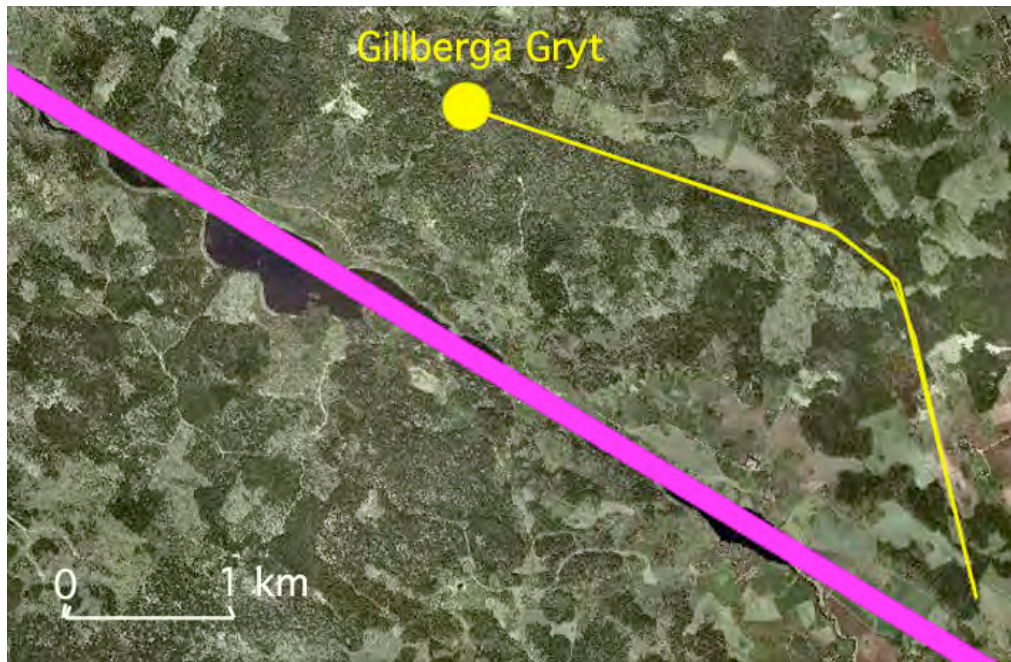
Per Einar Tröften föreslog i sin doktorsavhandling (s. 34) att berggrundsdeformationen vid Gillberga Gryt utgör slutpunkten på en lins-deformation NO om förkastningslinjen längs Storsjön och Bysjön. SKB synes helt okunniga om detta (Figur 11).

Vid Grisslehamn finns ganska goda indikationer på berggrundsrorelser efter istiden. Även om detta ligger relativt långt från Forsmark så hör det ändå till samma förkastnings mönster.

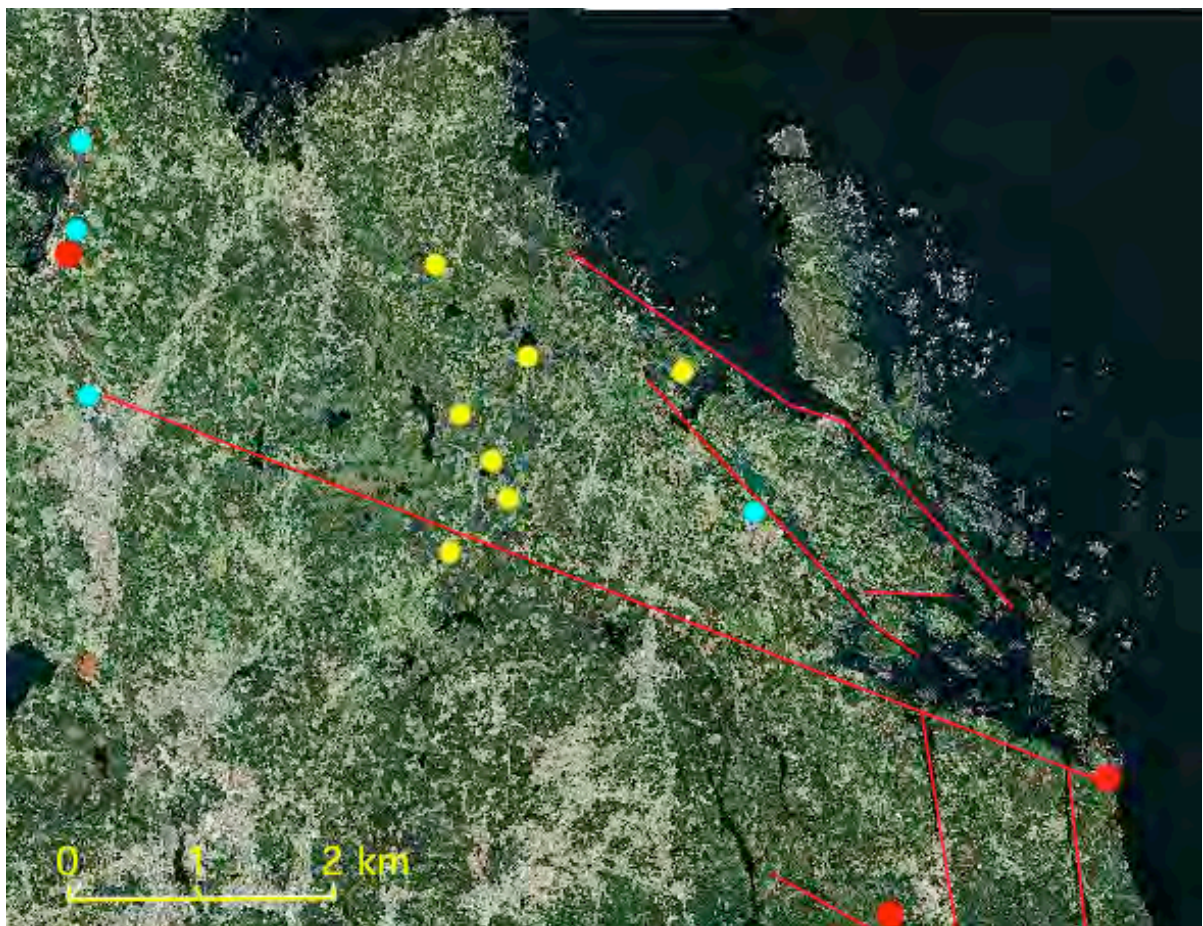
Jag har (i ett flertal fackgranskade artiklar och ett par böcker) visat att området haft minst 5 stora jordbävningar; 10,160 vBP, 10,000 vBP, 9813 vBP, ~8000 BP och 2900 BP. Fem stora jordbävningar på 10.000 år. I det läget är det närmast en skymf när SKB hävdar att SKB maximalt på 100.000 år bara kan drabbas af 1 jordbävning av magnitud 6. Matematiken svindlar: 1 på 100.000 år när vi passerat 5 på 10.000 år.

Norra Uppland är ett mycket mer seismiskt aktivt område (summerat i Figur 12) än vad SKB låter framskina. Här möter vi återigen ett flagrant exempel på SKB:s subjektiva val av scenarier (Figur 1) och åsidosättande av andra högs relevanta fakta (dessutom publicerade internationellt i peer reviewed artiklar och böcker). Detta är oacceptabelt och klandervärt.

Vid arbeten i Dannemoragruvan iakttog vår grupp (under permanent registrering över 10 månader 1981/82) stark metangasavgång i borrhålen som pulserade med en dygnsrytm och en månadsrytm. Detta öppnar för problem med explosiv metangastektonik (3.3 ovan).



Figur 11. Gillberga Gryt i slutet på en deformationslind (gul linje) NO om förkastningen längs Storsjön–Bysjön (Tröften, 1997) daterad 10.160 vBP (Mörner, 2003).



Figur 12. Aktiv postglacial tektonik i norra Uppland. Några utvalda förkastningslinjer (röda linjer), berggrundsdeformationer (röda prickar), sedimentdeformationer (blå prickar) och tsunamilager daterade 2900 BP (gula prickar). Detta innebär att den tektoniska aktiviteten i området är mycket större än vad som framkommer i SKB:s ansökningshandlingar. Man har anledning klandra bakgrundsutredningen.

Om SKB gjort en öppen upphandling av paleoseismiska studier i Forsmarksområdet, så är jag övertygad om att P&G-enheten vid Stockholms Universitet genomfört en billigare, mer omfattande och framförallt mer korrekt analys (Figur 12) än den som nu föreligger (SKB R-05-51) och som SKB, utan uppdatering från nya publikationer, baserar sina slutsatser på.

6. Bevisbörderegeln

Ett KBS-3 förvar måste hålla i "minst 100.000 år". Därmed synes alla vara överens. Jag vill med skärpa framhålla, att jag anser att detta baskrav inte uppfylls av SKB. Därmed anser jag att man bryter mot "*bevisbörderegeln, kunskapskravet, försiktighetsprincipen*". Dessutom finns det många välgrundade fakta inom modern forskning, som ger en diametralt annan bild av den geodynamiska verkligheten i ett långtidsperspektiv. Att ignorera allt som inte passar med den egna bilden (Figur 1), är oförenligt med en allsidig och transparent MKB-utredning (och är naturligtvis oförenligt med "*bevisbörderegeln* och *kunskapskravet*").

Jag konstaterar att SKB i sin ansökan liksom i hela sin handläggning av kärnkraftsfrågan bryter mot de i miljöbalken angivna allmänna hänsynsreglerna; nämligen:

- **Kunskapskravet**, då "den kunskap som behövs" inte föreligger; dels ignorerar man fakta och resultat som inte stämmer med det egna konceptet, dels föreligger ännu många delar bara som skisser eller olösta problem.
- **Försiktighetsprincipen**, då "risk för en negativ påverkan" föreligger på en rad punkter och dessa icke beaktats av SKB eller icke beaktats på ett adekvat sätt.
- **Bästa möjliga teknik**, då SKB envetet hänger kvar vid ett koncept trots att basen för detta ändrats, och inte analyserar alternativa metoder (mer än summariskt och ytligt).
- **Bästa lokalisering**, då Östhammar på intet sätt har bättre geologiska förutsättningar än andra platser i Sverige (även klart bättre platser föreligger) och ligger kustnära vilket ökar risken för negativ påverkan av Östersjön som helhet.
- **Hushållning och kretslopp**, då KBS-3 metoden innebär ett "slutförvar" utan praktiska möjligheter till återanvändning och återvinning (vad gäller "återtagbarhet", som kärnavfallsrådet nu pläderar för, så har SKB själva, i Komplettering till Fud-program98, skrivit att detta skulle vara så kostsamt att det i praktiken är omöjligt). Mängden koppar i KBS-3 projektet är mycket stor och bör därför "hushållningsgranskas". Faran för en negativ påverkan av vattenrecipienten (grundvatten, sjöar och hav) rör det hydrologiska kretsloppet både lokalt och regionalt (hela Östersjön).
- **Produktvalsprincipen**, då det synes vidlåda problem och osäkerheter vad gäller bentonit som återfyllnads- och förslutningsmaterial och koppar som korrosionsfritt kapselhölje.

Jag anser att "bevisbörderegeln" även måste omfatta de delar av potentiella risker och problem som SKB åsidosatt och lämnade obeaktade genom sina snäva och subjektiva val av ingående scenarier (så som illustreras i Figur 1 ovan).

7. Slutsatser

Efter genomförd granskning av tillgängliga handlingar drar jag följande slutsatser, som jag finner det angeläget att SSM driver i den fortsatta processen.

- (1) Fud processen har inte fungerat i det avseendet att kritiska synpunkter och divergerande fakta som framförts i remisserna från universitet och NGO-grupper inte hörtsammats eller beaktats.
- (3) SKB:s utomordentligt subjektiva väljande och vrakande av olika scenarier är basen till alla problem (Figur 1). Meningen med en MKB process kan inte vara att man skall välja ut ett (passande) scenario och så driva detta utan att ens beakta övriga möjliga

scenarier. På detta sätt havererar hela säkerhetsanalysen – kolossala fält blir helt enkelt obeaktade och åsidosatta. Detta är direkt klandervärt.

Uteslutande av alternativa möjligheter är alltid klandervärt i en allsidig MKB utredning, När det obeaktade materialet utgörs av ”peer-reviewed” vetenskapliga publikationer i ansedda internationella tidskrifter blir det fullkomligt oacceptabelt och något som SKB måste prickas för – så får man helt enkelt inte göra.

- (4) Jordbävningsscenariet måste i sin nuvarande utformning helt och fullt underkännas. Kravet måste bli att det i grunden görs om.
- (5) Det ringa ”respektavstånd”, som SKB använder som grundargument för designen av deras förslag till slutförvaret i Forsmark, kan inte godkännas. Bakgrundsmaterialet är för svagt och synes dessutom strida mot observationsfakta. En genomgripande revision måste genomföras
- (6) Metangas tektoniken måste naturligtvis utredas vidare. Jag föreslår att medel tilldelas för ett nytt projekt under Mörners ledning där lokalerna dokumenteras med Lidar bilder, detailsanalyseras och där djupa (minst 150 m) borrhningar genomförs åtminstone på två platser (lämpligen Skålboberget och Kvarnberget).
- (7) Glacial prognoserna måste utvidgas att täcka inte bara modellering utan också integrering med tillgängliga fältdata samt en oberoende analys utgående direkt från Milankovich variablernas signaler under kommande 120.000 år.
- (8) Grundvattnets rörelser vid förhöjt geoidläge måste beaktas.
- (9) Jag ser det som närmast skandalöst att DRD metoden – i alla dess olika utformningar – ännu inte föreligger i adekvat beskrivning. DRD-gruppen bör omgående ges ett adekvat bidrag för en sådan utredning.
- (10) Forsmark är på intet sätt den bästa platsen i Sverige för ett slutförvar enligt KBS-3. Det finns många bättre platser. Den paleoseismiska analysen är undermålig.
- (11) ”Bevisbörderegeln” innehåller många krav och principer på vilken en adekvat MKB utredning måste vila. SKB åsidosätter många av dessa.
- (12) Jag anser att ett slutförvar enligt KBS-3 metoden är omöjligt ur miljö- och säkerhets-synpunkter, och att SKB:s ansökan därför måste avslås.

Hänvisning görs även till följande skrivelse i ärendet:

Skrivelse till Kärnavfallsrådet av 2008-04-21

Skrivelse till Miljödepartementet & SSM av 2009-03-18

Skrivelse till Miljöministern av 2010-03-20

Skrivelse till ITE-gruppen hos SSM av 2011-12-18

Quaternary International, vol. 242, s. 65-75 (2011)

Till Kärnavfallsrådet
Regeringsgatan 30-32
103 33 STOCKHOLM

Med anledning av:

Utfrågning om systemanalys för slutförvaring av kärnavfall

Den 24 april 2008

Näringslivets Hus, Storgatan 19, Stockholm

konstaterar jag (mail av 08.04.03)

Det låter intressant.

Men

jag frågar mig

Varför

**får inte vi kritiska framföra våra synpunkter
med inbjudet inlägg**

Det är ju dock,

problemen

**som är vida viktigare
än applåderna**

???

Nils-Axel Mörner

Stockholm, den 21 april, 2008

Nils-Axel Mörner

Paleogeofysik & Geodynamik, Rösundavägen 17, 13336 Saltsjöbaden, morner@pog.nu

Förtydligande följer på omstående sida

Slutförvar av högaktivt kärnbränsleavfall

Följande gäller (se djupare utredning i mitt utlåtande i Milkas remissutlåtande över SKBs "FuD program 2007"):

1. Det finns ingen säker "lösning"
2. Den så kallade KBS-3 metoden måste klassas som direkt havererad
3. Alternativa lösningar måste komma till stånd (för det avfall som redan finns)

Hur kan jag påstå detta?

Jo, detta blir de närmast självklara slutsatserna om man beaktar modern kunskap om de processer och tillstånd som verkligen råder (har rätt och kommer att råda) i vårt Fennoskandiska berg.

Jordbävningsscenarioet som ligger till grunder för kärnkraftsindustrins i Finland och Sverige påståenden är totalt föråldrade och saknar relevant till verkligheten. Man talar om maximalt 1 jordbävning på magnitud 7 under 100.000 år. Detta är inte bara nonsens, det är direkt desinformation. Verklighetens data för en 100.000 års period, torde i stället vara: 100tals jordbävningar på magnitud 7, 10tals på magnitud 8 och några kanske på upp till magnitud 9. I den miljön ligger inget KBS-3 lager säker i berget, snarare klart osäkert.

Säkerhetsavståndet på 50–100 m till regionala sprickzoner i berget. är en direkt geologisk oförskämdhet. Verkligheten ger en helt annan bild och man måste tala om 10–50 km. I den verkligheten ryms inget KBS-3 förvar i berggrunden.

Explosiv metanavgång är en helt ny faktor som på noll och inget sätt beaktats av kärnkraftsindustrin. Den utmönstrar allt tal om säker långtidsförvaring i berget. Bevis för denna process framlade jag 2003 i min bok "Paleoseismicity of Sweden – a novel paradigm". Bakgrunden är att metan kan ackumuleras i sprickor och hålrum i berget i form av metanis, vilken explosivt kan övergå i metangas då tryck och temperatur ändras (vid landhöjning, jordbävningar och postglacial uppvärmning). Den sista stora explosionen förekom så sent som för 2000 år sedan i Hudiksvall och den gav upphov till en 20 m hög tsunamivåg.

Hänvisning till djupare analyser göres till följande arbeten

Mörner, N.-A. 2003: *Paleoseismicity of Sweden – a novel paradigm*. A contribution to INQUA from its Sub-commission on Paleoseismology, ISBK-91-631-4072-1, 320 pp, the P&G unit, Stockholm Univ.

Mörner, N.-A., 2008. *Excursion Guide*. Excursion No 11, 33rd IGC, 2008, 107 pp. www.tidstornet.se/IGC_Excursion11.doc

Mörner, N.-A., 2008 Remissutlåtande över "FuD-program 2007". In: Remiss-utlåtande av MILKAS över FuD-program 2007. Avdelning 1 av Nils-Axel Mörner, p. 1-45. www.tidstornet.se/FUDmörner.doc

Sveriges Regering
Energidepartementet
Energiminister Andeas Carlgren
Registrar@environment.ministry.se

samt: Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM)
Ann-Louse Eksborg
registrator@ssm.se

Angående slutförvaring av högaktivt kärnbränsleavfall

synpunkter från Nils-Axel Mörner

Paleogeofysik & Geodynamik, Rösundavögen 17, 13336 Saltsjöbaden, morner@pog.nu

I Regeringsbeslut 38 av 2008-11-20 anger ni att alternativen skall beskrivas bättre. Detta uppdrar ni åt SKB att göra – vilket är helt följdriktigt men inte innebär någon allsidig analys bara en ny partsinlägga. Så här i slutskedet när det gäller att ”få alla korten på bordet” duger det inte längre med ”resultatstyrda” partsinlägg.

Det finns alternativ

En av dessa är vår DRD-metod (Dry Rock Deposit). Genom åren har vi om och om igen framhållit att denna metod åtminstone måste ges en ärlig och adekvat utredning. Vi har äskat anslag för detta hos SKI, men ansökan avslogs (med icke acceptabel motivering och med djupt jäviga bedömningar). I remissvaren från Stockholms Universitet 2004 och från Milkas 2008 framhölls mycket kraftigt att DRD-metoden måste ges medel för en adekvat och oberoende presentation. Både SKB och SKI har refererat till DRD-metoden på sätt som inte alls stämmer med metodens konstruktion och operativa system.

S.k. ”noll-alternativ” skall presenteras

Det förtjänas framhållas att Statens Råd för Kärnkraftsfrågor i sin bedömning av kunskapsläget 2007 (SOU 2007:38) betecknad DRD-metoden som ”nollalternativ”: nämligen deras alternativ C2 och C3 (sid 39). Alltså borde en analys av DRD-metoden vara ett krav på SKB. Men då borde bas-beskrivningen komma från dem som uppfunnit och drivit metoden (DRD-gruppen) – inte från konkurrent-sidan (SKB).

DRD som ett försteg för transmutering och djupa borrhål

Det finns även ett tredje skäl för att låta utreda DRD-metoden, nämligen att denna metod (som framhålls i FUD-remissen från Milkas, 2008) ger handlingsfrihet och därmed kan på ett idealiskt sätt kombineras med eventuella framtida innovationer som skulle kunna tillåta transmutering, samt därefter (eller även direkt) deponering i djupa borrhål.

SKB:s egen metod KBS-3 har – i ljuset av modern forskning – visat sig vara en ohållbar ”återvändsgränd”. Långtidsgarantierna på 100.000 år framstår närmast som ett geologiskt hån. Man tar sig friheten att frånsä från dagens internationella spetsforskning i en rad ämnen. I princip har man bara två möjligheter:

- att acceptera nya rön: och då faller metoden och nya lösningar måste sökas
- att förneka allt som omöjliggör ett säkert KBS-3 förvar

Tyvärr har SKB valt förnekandets väg. Detta gäller framförallt dagens nya kunskap om i berget rådande processer och deras förändringar med tiden. Se vidare nedan.

När SKB hävdar att högaktivt kärnbränsleavfall kan förvaras under full säkerhet i berget under ”minst 100.000 år”, så är detta ett djupt ovetenskapliga påstående, inte bättre än när Tobaksmonopolet hävdar att cigarettökning är helt ofarligt. SKB talar i egen sak.

Med sin snäva resultatstyrning – missar man målet: ett säkert slutförvar

Jag hävdar

- (1) att DRD-metoden måste ges medel för en adekvat beskrivning, av oss som utvecklat och drivit metoden.**

Skälen för detta anges på föregående sida (samt i Fud-remisser 2004 och 2008).

- (2) att KBS-3 metoden inte längre är ett trovärdigt koncept, i ljuset av ny internationell ”spetsforskning” vad gäller berget, dess processer och variationer med tiden.**

SKB söker förneka dessa nya resultat. I sin blinda resultatstyrning, tillåter man sig ta friheten att frånsä från observationsfakta som kan kontrolleras i fält, och i dess ställe stöder man sig på obekräftade datamodeller och teoretiska beräkningar. Allt för att framhärda i att påstå att man har en metod (KBS-3) som ger ett ”slutförvar” som uppges vara säkert ”i minst 100.000 år”.

Detta påstående saknar dock vetenskaplig teckning (se vidare: Mörner, 2003, 2009).

Det synes oacceptabelt, fräckt och lumpet att – för detta resultatstyrda egenintresse – tillåta sig utmönstra internationell spetsforskning med argumentet att det bara utgör ”*extrema idéer som SKB inte behöver beakta*”.

Det är dags för Regering och Tillsyningsmyndighet att ingripa.

Jag hänvisar till:

- FUD-granskningar från Stockholms Universitet 1983–2004 och från Milkas 2008.
- mina peer-reviewed vetenskapliga artiklar i ämnet (s. 5).
- min stora bok i ämnet: ”*Paleoseismicity of Sweden – a novel paradigm*”, 2003.
- mina debattböcker i ämnet: *Ecce Homo* (1980) och *Detta Eviga Avfall* (2009).
- bifogade skriftväxling med SKB (s. 3-4) med dokumentationstillägg (s. 5-12).

Saltsjöbaden den 18 mars, 2009

Nils-Axel Mörner

Docent i geologi vid SU
Rådsdocent (emeritus) vid NFR (VR) 1978-2005
Föreståndare för Paleogeofysik & Geodynamik vid SU 1991-2005
President of INQUA Neotectonics Commission (1981-1989)
Editor of Neotectonics Bulletin 1978-1996

Rösundavägen 17, 13336 Saltsjöbaden
08-7171867, morner@pog.nu

Till Claes Thegerström
SKB

Öppet brev till SKB

Vid SKB:s jubileumsföreläsning på Tekniska Museet den 25 september, 2008, under rubriken "*Från Problem till Lösning*", så frågade jag panelen om deras syn på de nya forskningsresultat som kommit fram vad gäller seismisitet, respektavstånd och metangastektonik.

SKB:s informationschef Saida Engström gav ett klart svar:
Dessa resultat representerade "extrema idéer", och "*extrema idéer behöver vi inte beakta*".

Svaret finner jag oacceptabelt och forskningsetiskt förkastligt (någon repliktid gavs inte).

Eftersom jag är övertygad att våra resultat representerar internationell spetsforskning och inte alls "extrema idéer" (och då stödjer jag mig på peer-reviewed internationella publikationer, internationella symposia, key-note presentations, internationella exkursioner och ett aktivt lagarbete av relevanta internationella experter), så vill jag härmed få svar på följande fråga.

Anser SKB att våra resultat (beskrivna i min bok "*Paleoseismicity of Sweden – a novel paradigm*" och relaterade peer-reviewed papers, samt i våra Fud-remisser 2004 och 2008) representerar "*extrema idéer som SKB inte behöver beakta*" (i citat av er informationschefs uttalande)?

Jag begär omgående svar på min fråga och senast per 15 januari 2009.

Saltsjöbaden den 2 januari, 2009

Nils-Axel Mörner

Docent, Föreståndare för Paleogeofysik & Geodynamik vid SU (1991-2005)
President of the INQUA Commission on Neotectonics (1981-1989)

Claes Thegerström
 SKB
claes.thegerstrom@skb.se

Bäste Claes,

Tack för svar av 2009-02-13 på mitt brev av 2009-01-02.

Min fråga var ju mycket enkel och klar.

"Anser SKB att våra resultat (beskrivna i min bok "Paleoseismicity of Sweden – a novel paradigm" och relaterade peer-reviewed papers, samt i våra Fud-remisser 2004 och 2008) representerar "extrema idéer som SKB inte behöver beakta" (i citat av er informationschefs uttalande)?"

Ditt s.k. svar adresserade inte frågan. Jag anar varför.

Jag vet ju precis vad som gäller:

- har jag rätt, så fungerar inte ert förvar och er påstådda långtidssäkerhet.
I det läget måste nya lösningar komma till stånd.
- är vad jag hävdar bara "extrema idéer som SKB inte behöver beakta" så kan ni gå vidare som planerat.

Det är bara det att ni i det senare fallet får besvär med att förklara hur min forskning skall kunna betecknas som "extrema idéer", när den snarare representerar modern spetsforskning.

- hur skulle jag i så fall kunnat uppnå min position som Rådsdocent i Paleogeofysik och Geodynamik och som Föreståndare för enheten med samma namn (P&G) vid Stockholms Universitet (1991-2005)?
- hur skulle jag i så fall kunnat valts till President for INQUA Commission on Neotectonics (1981-1989) och Editor för The Neotectonic Bulletin (1978-1996)?
- och varför skulle så många forskare sökt sig till vår P&G-enhet för kortare eller längre vistelser?
- hur skulle jag i så fall kunna få alla mina artiklar publicerade i erkända internationella facktidskrifter efter mycket noga "peer reviewing"?
- och varför skulle jag inbjudas till så många möten och platser runt jorden för att tala just om våra svenska resultat? I många fall som "Keynote-presentationer" vid internationelle kongresser och möten.
- och hur skulle jag i så fall kunnat spela en så framträdande roll vad gäller paleoseismicitet och neotektonik vid den stora IGC-33 kongressen i Oslo?

Nej, det kan inte vara seriöst att söka klara sig ur en minst sagt prekär situation genom att ta till något så lumpet – oetiskt och ovetenskapligt – som att hävda att våra resultat representerar "extrema idéer som SKB inte behöver beakta".

Jag hävdar att den representerar internationell "spetsforskning".

Tillgängliga fakta talar – ganska klart, skulle jag vilja säga – för min syn; inte er.

Saltsjöbaden den 12 mars, 2009

Nils-Axel Mörner

Peer-reviewed papers (only: paleoseismics-neotectonics)

- Mörner, N.-A., 2009. Late Holocene earthquake geology in Sweden. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 23, 179-188.
- Mörner, N.-A. & Sun, G., 2008. Paleoearthquake deformations recorded by magnetic variables. *Earth Planet Sci. Letters*, 267, p. 495-502.
- Mörner, N.-A., 2007. The Fenris Wolf in the Asa Creed in the light of paleoseismics. In: Piccardi, L. & Masse, W.B. (eds), *Myth and Geology*, Geol. Soc. London, Spec. Publ., 273, p. 117-119.
- Mörner, N.-A., 2006. 2500 years of observations, deductions, models and geoethics. *Boll. Soc. Geol. It.*, 125, p. 259-264.
- Mörner, N.-A., 2005. An investigation and catalogue of paleoseismology in Sweden. *Tectonophysics*, 408, p. 265-307.
- Mörner, N.-A., 2004. Active faults and paleoseismicity in Fennoscandia, especially Sweden: Primary structures and secondary effects. *Tectonophysics*, 380, 139-157.
- Cronhjort, B. & Mörner, N.-A., 2004. A question of dry vs wet. The case for Dry Rock Disposal of nuclear waste. *Radwaste Solutions*, May/June, p. 44-47.
- Mörner, N.-A., 2001. In absurdum: long-term predictions and nuclear waste handling. *Engineering Geology*, 61, 74-82.
- Mörner, N.-A., Tröften, P.E., Sjöberg, R., Grant, D., Dawson, S., Bronge, C., Kvamsdal, O. & Sidén, 2000. Deglacial paleoseismicity in Sweden: the 9663 BP Iggesund event. *Quat. Sci. Rev.*, 19, 1461-1468.
- Tröften, P.E., 2000. The use of varved clay chronology for dating paleoseismic events: the Erstavik record in the Stockholm area, south Sweden. *Sedimentary Geol.*, 130, 167-181.
- Mörner, N.-A., 1999. Paleo-tsunamis in Sweden. *Phys. Chem. Earth*, 24, 443-448.
- Tröften, P.E. & Mörner, N.-A., 1997. Varved clay chronology as a means of recording paleoseismic events in southern Sweden. *J. Geodynamics*, 24, 249-258.
- Mörner, N.-A., 1996. Liquefaction and varve disturbance as evidence of paleoseismic events and tsunamis: the autumn 10,430 BP event in Sweden. *Quat. Sci. Rev.*, 15, 939-948.
- Mörner, N.-A., 1995. The Baltic Ice Lake – Yoldia Sea transition. *Quat. Int.*, 27, 95-98.
- Mörner, N.-A., 1995. Paleoseismicity – the Swedish case. *Quat. Int.*, 25, 75-79.
- Mörner, N.-A., & Tröften, P.E., 1993. Paleoseismotectonics in glaciated cratonal Sweden. *Z. Geomorph. N.F.*, 94, 107-117.
- Mörner, N.-A., 1993. Boulder trail from a subglacial earthquake, Äspö, Sweden. *Z. Geomorph. N.F.*, 94, 159-166.
- Mörner, N.-A., 1992. From 100,000 BP to 100,000 AP. *GFF*, 114, 176-177.
- Mörner, N.-A., 1991. Intense earthquakes and seismotectonics as a function of glacial isostasy. *Tectonophysics*, 188, 407-410.
- Mörner, N.-A., 1991. Course and origin of the Fennoscandian uplift: the case for two separate mechanisms. *Terra Nova*, 3, 408-413.
- Sjöberg, R., 1991. Caves as indicators of neotectonics in Sweden. *Z. Geomorph. N.F., Suppl.Bd.* 63, 141-148.
- Mörner, N.-A., 1990. The Swedish failure in defining an acceptable bedrock repository for nuclear waste deposition. *GFF*, 112, 375-380.
- Mörner, N.-A., 1990. Glacial isostasy and long-term crustal movements in Fennoscandia with respect to lithospheric and asthenospheric processes and properties. *Tectonophysics*, 176, 13-24.
- Mörner, N.-A., 1989. Introduction. *Tectonophysics*, 163, 181-184.
- Mörner, N.-A., Somi, E. & Zuchiewicz, W., 1989. Neotectonics and Paleoseismicity in the Stockholm intracratonal region of Sweden. *Tectonophysics*, 163, 289-303.
- Mörner, N.-A., 1987. Dynamic and gravitational groundwater levels – A two-layered groundwater model. *J. Geol. Soc. India*, 29, 128-134.
- Mörner, N.-A., 1985. Paleoseismicity and geodynamics in Sweden. *Tectonophysics*, 117, 139-153.
- Mörner, N.-A., Lagerlund, E. & Björck, S., 1981. Neotectonics in the province of Blekinge. *Z. Geomorph. N.F., Suppl.Bd.* 40, 55-60.
- Mörner, N.-A., 1980. The Fennoscandian uplift: geological data and their geodynamical implication. In: *Earth Rheology, Isostasy and Eustasy*, N.-A. Mörner, Ed., p. 251-284. Wiley & Sons.
- Mörner, N.-A., 1980. A 10,700 years' paleotemperature record from Gotland and the Pleistocene/Holocene boundary events in Sweden. *Boreas*, 9, 283-287.
- Mörner, N.-A., 1979. The Fennoscandian uplift and Late Cenozoic geodynamics; geological evidence. *GeoJournal*, 3, 287-318.
- Mörner, N.-A., 1979. Earth movements in Sweden 20,000 BP to 20,000 AP: recorded and expected. *GFF*, 100, 279-286.
- Mörner, N.-A., 1978. Faulting, fracturing and seismic activity as a function of glacial-isostasy in Fennoscandia. *Geology*, 6, 41-45.
- Mörner, N.-A., 1977. Past and present uplift in Sweden: glacial isostasy, tectonism and bedrock influence. *GFF*, 99, 48-54.

Varför skulle Nils-Axel Mörner inbjudas (och betalas) till så många länder, möten och kongresser för att prata – ofta som keynote speaker – om just våra svenska rön vad gäller paleoseismicitet och neotektonism, om denna forskning inte representerade just vad man kallar ”spetsforskning”? I det perspektivet är fru Engströms uttalande ”extrema idéer som SKB inte behöver beakta” naturligtvis inte bara rent oförskämt utan dessutom en grov lögn.

Land	år	ämne och händelse
Kina	1991	Tibetan Uplift, INQUA – symposium organizer
	1987	Global tectonics, All China Tectonic Confr. – invited
Syd Korea	2005	Active Fault/Tectonic Conference – keynote
	2006	crustal stability – invited expert
Japan	1991	nuclear waste handling, NGO meeting – invited
Mongoliet	2005	Fault behaviour, 100 yrs anniversary – invited
Nya Zeeland	1972	Uplift & Tectonics Symp. – invited
Brasilien	1989	Lithospheric processes, Int. Symp. – keynote
	2000	Nuclear waste handling, IGC-31 – invited
Venezuela	1981	Active Tectonics – organisatör + keynote
	2007	Merida meeting – keynote
USA	2003	Paleoseismology, INQUA – keynote
Canada	1994	Postglacial Faulting, Magnec – invited
England	1981	Mega-morphology, London symp. – keynote
	2001	Paleoseismology, Brunell Univ. – invited
Spanien	1989	Noetectonics, 2nd RQI – keynote
	2009	Paleoseismology, INQUA – invited
Italien	2001	Paleoseismology, INQUA symposium – keynote
	2004	Nuclear waste handling, IGC-32 – invited
	2006	Paleoseismology, INQUA – invited
Österriket	2006	Earthquake geology, EUG – keynote
Frankrike	1995	Paleoseims/ Nuclear waste, EUG – invited
Tyskland	1995	Neotectonics, INQUA - keynote
	1995	Tibetan Uplift, INQUA – organizer, introduction
	2006	Paleoseismology, Tectonig Group – keynote
	2008	Paleoseism./kärnkraft, Möte – keynote
Estland	2008	Paleoseismology, Thessaloniki Univ. – invited
Norge	2008	Paleoseismology, STP-03 organizer
		Neotectonics, – invited
		SCS-06 short course in Paleoseismology – organizer
		Excursion 11 (A+B) – organizer & Leader
Sverige	1977	Landhöjning, internationellt möte (GDP) – organisatör
	1999	International excursion for 40 international top specialists

Varför skulle alla dessa internationella specialister på paleoseismicitet och neotektonik spendera tid och pengar på dessa exkursioner om det inte var just så att här fanns något att hämta: internationell spetsforskning helt enkelt

Deltagare i IGC-33s Excursion No 11 (2008)

Excursion 11, part A

July 30 (evening, Umeå) to August 5 (morning, Stockholm)

Nils-Axel Mörner (leader, Sweden)
 Rabbe Sjöberg (co-leader, Sweden)
 Franck Audemard (co-leader, Venezuela)

John Adams (Canada)
 Christian Beck (Venezuela, France)
 Dan Clark (Australia)
 Trevor Faulkner (GB)
 Christoph Gruetzner (Germany)
 Gösta Hoffmann (Germany)
 Jim McCalpin (USA)
 Shawn Quick (USA)
 Andrzej Piotrowski (Poland)
 Klaus Reicherter (Germany)
 Tom Rockwell (USA)
 Witold Zuchiewick (Poland)
 Ueechan Chwae (South Korea)
 Wife Sung-Ja Choi (South Korea)
 Daughter Thora (South Korea)
 In total **18** participants

Excursion 11, part B

August 15 (morning, Stockholm) to August 19 (morning, Båstad)

Nils-Axel Mörner (leader, Sweden)
 Franck Audemard (co-leader, Venezuela)

Tomas Boski (Portugal)
 Cristina Fernandes da Silva (Portugal)
 Joao Alverino Dias (Portugal)
 Don Easterbrook (USA)
 Ellen Easterbrook (USA)
 Yamazaki Haruo (Japan)
 Daiei Inoue (Japan)
 Yoshihiro Kinugasa (Japan)
 Niels Schroeder (Denmark)
 Itoko Tamura (Japan)
 In total **12** participants

Short-course in Paleoseismology (SCS-06)

August 10, 09.00-18.00, Room D9

Paleoseismology arose as a new, separate subject with the creation of a Sub-commission on “Paleoseismicity” of the INQUA Commission on Neotectonics in 1981. The subject has rapidly increased and matured as testified by the multiple activities at this congress. Geology is the key to a meaningful inventory of past seismic activity, and from that, a long-term seismic hazards assessment. The data come from geomorphology, structural geology, sedimentology and from various geophysical records. Both primary (faults, fractures) and secondary (liquefaction, slides, tsunamis, etc) evidence have to be considered. Ideally, a paleoseismic event is recorded by multiple types of field evidence. Dating plays a central role in the establishment of a reliable chronology allowing meaningful seismic hazard assessment. Sometimes, the seismic activity differs significantly between the present and the past; as in the case of Sweden in deglacial vs present times.

Introduction

Paleoseismology (Mörner)

Primary Evidence 1

Geomorphic and stratigraphic evidence of repeated paleoseismic activity along major faults, with examples from Venezuela (Audemard)

Primary Evidence 2

Neotectonics and paleoseismics as recorded by trenching (McCalpin)

Primary Evidence 3

Archaeoseismology (Pavrides)

Secondary Evidence 1

Liquefaction as evidence of paleoseismic events (Mörner & Audemard)

12.00–13.00: LUNCH

Secondary Evidence 2

Tsunamis as evidence of paleoseismic events (Mörner & Beck)

Methods 1 – Dating

Dating in paleoseismology (Mörner & Audemard)

Methods 2 – Geophysics

The use of magnetic methods (Mörner)

Special Case 1

Neotectonics, paleoseismicity and methane venting (Mörner)

Application 1

Application of the INQUA Intensity Scale to Paleoseismic Studies (Silva diagram)

Application 2

Continuity and discontinuity in seismic activity (Mörner)

Application 3

Long- and short-term hazard assessments (Mörner, Audemard & McCalpin)

General Discussion

Participants and Leaders

End at 18.00

Course certificates to the participants (by mail)
and a DVD of the presentations

REPORT

from the Short Course (SCS-06) in Paleoseismology

The course was proposed, prepared and run by Nils-Axel Mörner (Sweden).

Franck Audemard (Venezuela), Christian Beck (France), Jim McCalpin (USA) and Spyros Pavlides (Greece) were engaged as co-teachers.

The course was held on August 10 in room D9. It started 09.00 and ended at 18.00.

The course was attended by 32 persons (at 09.00 as well as at 18.00).

There were both young students and well-established professors.

The following national distributions was recorded

Australia	1
Belgium	1
Chile	1
China	1
Columbia	1
Czech Republic	2
France	2
Greece	1
India	4
Iran	3
Italy	1
Japan	2
Mexico	2
Norway	1
Poland	4
Spain	1
South Korea	1
Sweden	2
Tanzania	1
Venezuela	1

All participants were given a DVD containing most of the material presented plus additional relevant material (papers, reports, etc.).

All participants were (by mail) given a Certificate of their participation, which also included a list of the full program (copy follows below, p. 3-4).

As organizer and teacher, I felt that the course went very well, indeed. The comments and works of thanks (by mail and orally after the course) were exceptionally positive, however. Some of the comments achieved follow below (p. 2).

So my final Report to IGC from the Short Course in Paleoseismology must be as follows:

Great Success!

With all the best wishes

Nils-Axel Mörner

SCS-06 organizer

Some selected comments by mail

So thanks again for nice organization and also for your kindly hospitality and really nice certificate.

Hamed Nazari (Iran)

I have really proud of having this training

Hari Singh Sisodia (India)

Sir, I am highly impressed by your lecture and lectures delivered by number of eminent palaeoseismologist. Sir I have been delighted by your course lectures and I have improved a lot in my research concepts and working.

Rajendra Kumar Dubey (India)

Thank you for this nice certificate. I hope it will make my Ph.D. applications stronger.

Reza Sohbaty (Iran)

I must, in the first place, like to thank you for your input towards the CONFERENCE. Here, I refer to your recommendations that enabled me to attend such a wonderful conference!

Athanas Macheyeke (Tanzania)

Tackar för kursen i paleoseismologi i Oslo.

Tackar för utsökt vackert diplom och väl genomförd kurs.

Måste säga igen att jag aldrig har varit med om en sådan dokumentation.

Sven Tirén (Sweden)

I take this opportunity to thank you once more for a wonderful trip in Sweden and a very, very instructive short course in Oslo. This was a great event!

Witold Zuchiewicz (Poland)

The short course of Palaeoseismology was very good and useful, even to me.

Spyros Pavlides (Greece)

33IGC – STP-01-02-03 Paleoseismology Symposia Reports

This report covers the three Paleoseismology Symposia STP-01, STP-02 and STP-03.

- STP-01: General contributions to paleoseismology**
STP-02: Deducing nature and magnitude of paleoearthquakes: Finding paleoevents and quantifying them
STP-03: Paleoseismology for seismic hazard: Constructing paleo-earthquake histories and deducing seismic hazard implications

Conveners

- STP-01: Hilmar Bungum (Norway), Alessandro Michetti (Italy), John Adams (Canada)
 STP-02: Alessandro Michetti (Italy), Karl Müller (USA), Klaus Reicherter (Germany)
 STP-03: Nils-Axel Mörner (Sweden), John Adams (Canada), Tom Rockwell (USA)

Number of presentations

- STP-01: 9 oral and 8 poster presentations
 STP-02: 14 oral and 9 poster presentations
 STP-03: 13 oral and 3 poster presentations

Symposium summaries:

STP-01: Dynamic processes in the Earth occur on a wide range of energy and time scales. Seismological data cover periods from milliseconds to days, geological and geomorphological data cover the longest time periods, while geodetic data cover both short and long periods. As the frequency ranges and the dynamic resolution of data from all of these disciplines are extended, the rewards from cross-disciplinary research within these fields are similarly increasing. This extension of the seismological time frame has facilitated a better understanding of long term geodynamic processes both at plate margins and in the interior of plates, including spatio-temporal variations in slip rates. Paleoseismology has moreover contributed significantly to the understanding of crustal dynamics in presently and formerly glaciated regions. The present general symposium is complementing two special symposia in paleoseismology, one on “Deducing nature and magnitude of paleoearthquakes” and one on “Deducing timing and return periods of paleoearthquakes”. Here we invite abstracts for oral presentations and posters on topics that are of more general nature, including methodological and theoretical papers, and contributions that are of a more multi- and cross-disciplinary nature.

STP-02: The most recent evolution of paleoseismological studies clearly demonstrates that in order to properly understand the seismic potential of a region, and to assess the associated hazards, broad-based/multidisciplinary studies are necessary to take full advantage from the geological evidence of past earthquakes. A major challenge in future paleoseismic research is to build detailed empirical relations between various categories of coseismic effects in the natural environment and earthquake magnitude/intensity. To this end, the INQUA Subcommission on Paleoseismicity developed a new macroseismic intensity scale only based on environmental effects, that has been formally named ESI 2007 (Environmental Seismic Intensity scale). Global and regional paleoseismological relations should be compiled in a way that is fully representative of the wide variety of natural environments on Earth, in terms of climatic settings, Quaternary tectonic evolution, rheological parameters of the seismogenic crust, and stress environment. For instance, available data indicate that between earthquake magnitude and surface faulting parameters different scaling laws exist, and they are a function of the local seismotectonic environment (including plate tectonic setting, style of faulting, strain rates, typical focal depths, fault rock properties, fluid pressure, and heat flow). In this regard, the concept of seismic landscape provides the necessary background for developing paleoseismological research strategies. Each earthquake source creates a signature on the geology and the geomorphology of an area that is unequivocally related with the order of magnitude of its earthquake potential. This signature is defined as the seismic

landscape of the area. Likewise, assessing the coseismic nature of a deformational feature largely depend on the completeness of the information available on the local seismic landscape. The session includes, but is not restricted to, the topics delineated above. We particularly welcome contributions based on results from fieldwork, high-resolution geophysical measurements, detailed structural and geomorphic analysis, and the comparison between the paleoseismic record and environmental effects during strong historical and contemporary earthquakes.

STP-03: Earth's geodynamics is controlled by several processes at various time-scales and depth ranges. Modern seismology reveals these processes through earthquake sequences, spatial-temporal variations in slip rates, and stress and strain accumulation on fault planes. However, objective instrumental monitoring is only 110 years old and historical records span 200-3000 years. Paleoseismology, beginning about 30 years ago, provides an important extension to the seismological time frame, using geological and tectonic structures to reveal earthquake histories. An extended time frame facilitates a better understanding of long-term geodynamic processes - cyclic shallow crustal movements at plate margins, long-return period events in plate interiors, and crustal dynamics in presently and former glaciated regions. Furthermore, large earthquakes impact human safety. A better understanding of their timing and their return periods will improve seismic hazard assessments. We invite abstracts for oral presentations and posters on (i) identification and dating of paleo-earthquakes, (ii) sequences and return intervals of earthquakes, (iii) continuity or discontinuity of seismic activity over time, and (iv) implications of extended earthquake histories for seismic hazard assessment. A pre-conference excursion to Sweden is organised in relation to this symposium.

Conclusions: Paleoseismology represents an important approach to meaningful long-term assessments of pre-instrumental and pre-historical earthquake occurrence and seismotectonics, including seismic hazard implications. This was vividly demonstrated during all these three symposia in paleoseismology. The problem of continuity and discontinuity in the seismic activity was especially highlighted. In conclusion, the symposia (and the related short course and excursions) have clearly demonstrated the power and importance of studies in paleoseismology. Paleoseismology is clearly a multidisciplinary field of science which has been significantly growing in importance over the last years.

General comments:

Odleiv Olesen gave an invited talk in STP-01, Antonio Godoy and Koji Okumura in STP-02, and Tom Rockwell in STP-03. We note, in general, a very high standard of the papers presented in all of the paleoseismology symposia. The room was full most of the time, implying some 50-60 persons. At the end of the first day there was a guided tour to the posters, and the two days ended with a general discussion in paleoseismology which was both lively and constructive. The symposia in paleoseismology were followed up by a successful Short Course (SCS-06) in Paleoseismology.

Announcements:

These three symposia were both planned and executed as a common effort aimed at covering a wide range of topics within paleoseismology. Excursion 11 and Short Course 06 were directly linked to the STP-03 symposium.

Jag citerar

*No degree of prosperity
could justify the accumulation of large amounts of highly toxic substances
which nobody knows how to make safe
and which remain an incalculable danger to the whole of creation
for historical or even geological ages.
To do such a thing
is a transgression against life itself,
a transgression infinitely more serious than any crime perpetrated by man.
The idea that a civilization could sustain itself on such a transgression
is an ethical, spiritual, and metaphysical monstrosity.
It means conducting the economical affairs of man
as if people did not matter at all.*

E. F. Schumacher, 1973, "Small is Beautiful"

Écrasez l'infâme !

(Voltaire)

DRD

*Dry Rock Deposit
accessible & controlable
the DRD-group*

P&G

*Paleogeophysics & Geodynamics
today an independent firm
earlier a university branch*

Till Sveriges Regering
Miljöministern Anders Carlgren
Registrar@environment.ministry.se

Yttrande från DRD-gruppen över

- (1) *Miljökonsekvensbeskrivning; mellanlagring, inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle SKB, december 2009, preliminär version (SKB, december 2009)*
- (2) Återtagbarhet
- (3) Slutförvaring av högaktivt kärnbränsleavfall

DRD-gruppen anser sig som målsägare eftersom vi vårdar ett förslag till en helt annan metod för hur aktuella avfallsprodukter skall lagras i berget; DRD-metoden.

Men vi anser en dialog med SKB bortkastad och förfelad och lämnar därför följande synpunkter direkt till Regeringen via Miljöministern och Kärnavfallsrådet

Stockholm den 1 mars 2010

Nils-Axel Mörner

ledare för DRD-gruppen, ägare av P&G-firman
Rösundavägen 17, 13336 Saltsjöbaden

1. Redan utgångspunkten är fel

På sidan 79 i den preliminära MKB versionen uppger SKB: *”de tidsskeden som beskrivs är de skeden då verksamheten ger konsekvenser”*, och anger sedan den *”bortre tidsramen i konsekvensbeskrivningen”* till år 2070. Detta kan inte godkännas eftersom möjligheter till konsekvenser föreligger under hela den ofantliga tiden **”minst 100.000 år”**.

Att driva kärnkraftverk och att ta hand om avfallsprodukterna på ett ansvarsfullt sätt är stora frågor med många mellanled och stora konsekvenser, kanske t.o.m. oanade sådana.

En meningsfull miljökonsekvensbeskrivning måste naturligtvis omfatta **hela** kärnkraftskedjan. Den ”preliminära version” som SKB tillhandahållit och som vi yttrar oss över, är emellertid begränsad

- **i tid** till ”60 år framåt i tiden” och
- **i sak** till ”mellanlagring, inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle”.

**Detta kan inte ens vara acceptabelt som ett slutled i samrådsprocessen,
och kan absolut inte accepteras när det gäller den verkliga MKB behandlingen.**

I en adekvat MKB-utredning måste hela avfallsfrågan vara belyst. Det gäller hela slutförvaringshanteringen, men det gäller också lagring av mellanaktivt avfall, och det gäller i högsta grad omhändertagandet och lagrandet av ”annat långlivat avfall”. Det senare är högaktivt och fordrar en garanterad separation från biosfären på ”minst 100.000 år”.

Därför vill DRD-gruppen med kraft hävda att denna preliminära version inte duger som slutlig miljökonsekvensutredning. Den ”slutliga versionen” måste omfatta hela hanteringen i alla dess led och i alla dess former.

SKB uppger att *”den planerade verksamheten befinner sig i ett projekteringskede”* och att det föreligger *”ett mått av osäkerhet i de bedömningar som görs”*. Enligt vår bedömning är projektet helt enkelt ännu inte moget för en seriös MKB-behandling. SKB uppger att man kompenserar osäkerheterna med *”ett pessimistiskt angreppssätt”*. Vi anser att så inte alls är fallet, i många fall gäller direkta motsatsen: ytlighet, lättvindighet, nästan vårdslöshet. Detta blir särskilt tydligt när det gäller den långsiktiga s.k. säkerheten.

2. Osäkerhet och okunskap: två skilda begrepp

Osäkerhet (skrives: ±) och okänt (skrives: ?) är två helt skilda saker, som måste hållas isär.

Osäkerheter kan ofta semikvantifieras och bedömas approximativt. Med iakttagande av försiktighetsprincipen och anläggande av konservativa antaganden, kan man ibland uppnå tillfredställande säkerheter för att driva en fråga vidare (under upprätthållande av en sträng kontroll som inte bör mattas innan osäkerheterna bemästrats).

Okunskap och okänt innebär luckor i vårt vetande, som måste ersättas med kunskap innan ett projekt kan föras vidare. Här duger inte gissningar och antaganden. I det okända ligger alltid möjligheten att nya och oförutsedda saker dyker upp.

SKB blandar begreppen och behandlar ofta ”okunskap och okänt” som ”osäkert”. I dessa fall duger det inte att arbeta med ”ett pessimistiskt angreppssätt”. Här ser vi så stora problem – även frågor där så stora kunskapsluckor ännu vidlåder – att en lösning inte ens kan skönjas.

3. En förfelad och stundom vulgariserad dialog

I dialogen mellan industrin (SKB AB) och beslutsfattare (tillsyningsmyndigheter och regering), experter (universitet m.mfl.) och folket (Milkas, MKG m.fl.) finns den repeterade FUD-granskningsprocessen. Allvarlig kritik har framförts att tillsyningsmyndigheten i sina summeringar av remissyttrandena ignorerade viktiga synpunkter från både universitet och miljöorganisationer. En liknande kritik har framförts vad gäller SKB's handläggning av synpunkter från miljörelserna inom samrådsprocessen (Milkas, 2010).

Fullkomligt grotesk blir "dialogen", när SKB utmönstrar viktiga men besvärande forsknings rön, med det rent vulgära bemötandet att dessa utgör "*extrema idéer som SKB inte behöver beakta*". Protester och klagörande föreligger dels i brev till Clas Tegerström (2009-01-02) del i yttrande till Energiministern och SSM (2009-03-18): se vidare nedan.

4. Motstående intressen

KBS-3 metoden är kärnkraftsindustrins egen idé-produkt. När den lanserades angav man att "berggrundens stabilitet" var grundförutsättningen för detta koncept. Att försvara denna grundförutsättning blev ett måste för SKB AB. Därför kom man även att försvara den när nya fakta gav en helt annan bild av verkligheten. Därmed fick vi mycket skarpt motstående intressen; å ena sidan industrin som till varje pris värnade om sitt koncept och å andra sidan den fria forskningen vid universiteten, inte minst då den som bedrevs vid avdelningen för Paleogeofysik & Geodynamik vid Stockholms Universitet (SU) med internationellt nätverk inom "INQUA Commission on Neotectonics" och "Committee on Paleoseismology".

Denna motsättning finns dokumenterad (från SU:s sida) i samtliga FUD-granskningar. I denna motsättning bör man beakta att SKB så gott som bara stöder sig på sina egna rapporter och underrapporter, medan åsikterna från Paleogeofysik & Geodynamik stöder sig på fri forskning dokumenterad i "peer-reviewed" (fackgranskade) artiklar i vetenskapliga internationella tidskrifter samt i internationellt samarbete i ett stort nätverk av experter. Samt, inte minst, i böckerna:

"*Ecce Homo*" – P&G, SU, 56 pp, 1980.

"*Paleoseismicity in Sweden – a novel paradigm*" – INQUA Committee on Paleoseismology, Reno 2003, P&G, SU, 320 pp, 2003.

"*Detta Eviga Avfall*" – PQR-kultur, Mariehamn, 100 pp, 2009.

Det är därför naturligt och på sin plats att här åberopa "*bevisbörderegeln*" och "*kunskapskravet*" i Miljöbalken.

5. DRD-gruppen konstaterar

- att samtliga led i kärnkraftskedjan utgör potentiella källor till oönskade konsekvenser.
 - Clab** drivs med ringa försvar mot terroristverksamhet som skulle kunna ge upphov till förödande konsekvenser. Till och med el-försörjningen utgör ett problem.
 - SFR** drivs med föga analys av framtida konsekvenser för Östersjöns miljö.
 - SFL** bara finns som skiss och att en konsekvensanalys alltså helt saknas.
 - BFA** är ett, i vårt tycke, totalt undermåligt lager för långlivat (högaktivt) reaktoravfall, vilket måste skyddas från biosfären i "minst 100.000 år". Varje spår av adekvat MKB utredning saknas.
 - KBS-3** förvaret måste under hela dess minimum tid (100.000 år) MKB-analyseras på sätt som även tar upp andra fakta och alternative än dem som SKB själv driver.
- att det är verksamhetsutövarens skyldighet att visa att och hur hänsynsreglerna följs.
- att verksamheten inte uppfyller dessa krav i de "allmänna hänsynsreglerna"

6. Bevisbörderegeln

Ett KBS-3 förvar måste hålla i ”minst 100.000 år”. Därmed synes alla vara överens. Vi vill med skärpa framhålla, att vi anser att detta baskrav inte uppfylls av SKB. Därmed anser vi att man bryter mot ”*bevisbörderegeln, kunskapskravet, försiktighetsprincipen*”. Dessutom finns det många välgrundade fakta inom modern forskning, som ger en diametralt annan bild av den geodynamiska verkligheten i ett långtidsperspektiv. Att ignorera allt som inte passar med den egna bilden, är oförenligt med en allsidig och transparent MKB-utredning (och är naturligtvis oförenligt med ”*bevisbörderegeln och kunskapskravet*”).

Vi konstaterar att SKB i sin handläggning av kärnkraftsfrågan bryter mot de i miljöbalken angivna allmänna hänsynsreglerna; nämligen:

- **Kunskapskravet**, då ”den kunskap som behövs” inte föreligger; dels ignorerar man fakta och resultat som inte stämmer med det egna konceptet, dels föreligger ännu många delar bara som skisser eller olösta problem.
- **Försiktighetsprincipen**, då ”risk för en negativ påverkan” föreligger på en rad punkter och dessa icke beaktats av SKB eller icke beaktats på ett adekvat sätt.
- **Bästa möjliga teknik**, då SKB envetet hänger kvar vid ett koncept trots att basen för detta ändrats, och inte analyserar alternativa metoder (mer än summariskt och ytligt).
- **Bästa lokalisering**, då Östhammar på intet sätt har bättre geologiska förutsättningar än andra platser i Sverige (även klart bättre platser föreligger) och ligger kustnära vilket ökar risken för negativ påverkan av Östersjön som helhet.
- **Hushållning och kretslopp**, då KBS-3 metoden innebär ett ”slutförvar” utan praktiska möjligheter till återanvändning och återvinning (vad gäller ”återtagbarhet”, som kärnavfallsrådet nu pläderar för, så har SKB själva, i Komplettering till Fud-program 98, skrivit att detta skulle vara så kostsamt att det i praktiken är omöjligt). Mängden koppar i KBS-3 projektet är mycket stor och bör därför ”hushållningsgranskas”. Faran för en negativ påverkan av vattenrecipienten (grundvatten, sjöar och hav) rör det hydrologiska kretsloppet både lokalt och regionalt (hela Östersjön).
- **Produktvalsprincipen**, då det synes vidlåda problem och osäkerheter vad gäller bentonit som återfyllnads- och förslutningsmaterial och koppar som korrosionsfritt kapselhölje.

Bevisbörderegeln skall, enligt vår mening, även gälla viktiga ”konfliktfrågor”, d.v.s. frågor där SKB hävdar en ståndpunkt, medan andra hävdar helt andra förhållanden (vilka är av avgörande betydelse för hela KBS-3 konceptet eller delar därav. Här har SKB, genom åren, begått allvarliga ”underlåtelssynder” enligt vår mening, när man i stället för att besvara och bedöma kritiska fakta, bara negerat eller ignorerat dessa fakta (vilka i de flesta fall vilar på djupt seriös forskning och peer-reviewed artiklar).

7. Kunskapskravet

Fakta inget annat än fakta borde vara basen för våra bedömningsgrunder. Men vad som uppfattas som fakta förändras ofta med tiden – och då måste även bedömningsgrunden följa med dessa förändringar. Ursprungligen angavs ”berggrundens stabilitet” som en ”grundförutsättning” för ett ”tillsyningsfritt slutförvar i berggrunden”. Idag är denna ”berggrundens stabilitet” bortblåst av ny modern geovetenskaplig forskning (Mörner, 2003, 2004). Men det vägrar SKB envetet att erkänna. Därmed gör man sig skyldig till brott mot både ”*bevisbörderegeln*” och ”*kunskapskravet*” samtidigt som man antar ett allt annat än ”pessimistiskt angreppssätt”, snarare vårdslöst ignorerande av tillgängliga forskningsfakta (dokumenterade i ett stort antal fackgranskade artiklar i internationella facktidsskrifter).

Vi noterar följande tillkortakommanden, vilka bör beaktas i enlighet med bevisbörderegeln:

- **Jordbävningsscenario**: SKB har genomgående (från starten fram till dags dato) använt sig av ett synnerligen ofullständigt och föråldrat ”jordbävningsscenario”. Modern

forskning ger en totalt annan bild, vilken är väl förankrad i forskning, internationell samstämmighet och peer-reviewed artiklar. SKB har inga fakta annat än egna rapporter att stödja sig på. Frågan är central för en applikation av KBS-3 metoden.

- **Respektavstånd:** SKB hävdar att det högaktiva kärnavfallet kan lagras 50-100 m från även stora förkastningslinjer och krosszoner i berget. Man stöder sig på 2 interna rapporter. Frågan är central för om det finns tillräcklig deponeringsvolym i berget. Mot detta står klara observationsfakta inom en bred internationell forskarexpertis.
- **Metangastektonik:** Detta är en helt nupptäckt process i den svenska berggrunden som synes omöjliggöra ett säkert slutförvar i berget enligt KBS-3 metoden. Vi anser att det åligger SKB att bevisa att processen inte förekommer (om man önskar fortsätta att hävda att ett KBS-3 förvar ger en säker förvaring i ”minst 100.000 år”).
- **Pluggning och återfyllnad med bentonitlera:** Här återstår mycket att lösa, visa och förbättra. Intill dess så sker förblir denna barriär djupt otillfredsställande.
- **Kopparkapselns korrosion:** Diskussionen om koppars korrosion (och därmed kapselns livslängd) är numera välkänd, däremot är den ännu inte avgjord.

8. Försiktighetsprincipen

Denna hänsynsregel slår klart och tydligt fast att ”*redan risken för en negativ påverkan medför skyldighet att vidta åtgärder*”.

Vi konstaterar att ”risk för negativ påverkan” föreligger på punkt efter punkt; t.ex.:

- att Clab i stort saknar adekvata säkerhetskontroller och att driva detta lager ”i 100 år eller mer” innebär alltså uppenbara risker.
- att KBS-3 konceptet vilar på antaganden och modeller, vilka kritiserats för att inte harmonisera med verklighetens observationsfakta. Detta innebär att det föreligger uppenbar risk för mycket stor negativ påverkan av natur och biosfär under de ”minst 100.000 år” som metoden uppges hålla för.
- att det inte ens föreligger ett förslag på hur ”långlivat medelaktivt avfall” skall tas om hand i bara ytligt skisserat SFL lager. Detta innebär ett idag okänt risktagande.
- att det högaktiva rivningsavfallet avses ”mellanlagras” i ett BFA-lager utan adekvat skydd mot vare sig negativ påverkan på närområdet eller ett oönskat terroristintrång. Här föreligger en uppenbar risk för ”negativ påverkan”.
- att tillvägagångssätt och utförande av pluggning och återfyllnad med bentonitlera ännu befinner sig på projekteringsstadiet vilket öppnar för osäkerheter och risker.

9. Bästa möjliga teknik

Den s.k. KBS-3 metoden är ett arv från 70-talet. Då fastlades de idéer och åsikter som kom att drivas vidare genom åren – trots att de ursprungliga ”grundförutsättningarna” blev föråldrade och upphörde att gälla. Regeringen har haft tidigare krav på att alternativen skall utredas. Denna alternativredovisning har varit mycket mager och är så även denna gång. Därmed uppfyller man inte redovisningsskyldigheten vad gäller ”bästa möjliga teknik” och inte heller ”bästa lokalisering”. Att man själva hyllar sin egen metod kanske inte är så förvånande. En MKB utredning vänder sig dock till beslutsfattarna och de måste ges en oinskränkt rätt att kunna bedöma alla tillbuds stående alternativa metoder.

SKB har genomgående under de 30 år som förevarit behandlat andra till buds stående alternativa metoder på ett synnerligen begränsat och ensidigt sätt. Bara ett mål synes ha förelegat; att visa att det bara finns en enda metod, nämligen deras egen. Detta har vi klagat över i skrivelse till Energiministern och SSM (daterat 18 mars, 2009, vilken följer nedan under punkt 16, exklusive bilagor).

Djupa borrhål är ett viktigt nytt alternativ som förtjänare vidare utredning.

Från Stockholms Universitet och Milkas har ofta framhållits att **DRD** (Dry Rock Deposit) måste utredas och ges medel för en adekvat presentation (DRD, 1999). Ett sådant krav har även tillställts Sveriges Regering (18 mars 2009). En större ansökan ingick 1999 till SKI, men avslogs (efter utlåtande från SKB och TVO). Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM) behandlar alternativfrågan (SOU 2007: 38). DRD-metoden förekommer som två underalternativ (C2 och C3) under alternativ C–nollalternativ.

Som ”nollalternativ” diskuterar SKB bara ”ett förlängt Clab”. Alternativen C2 och C3 enligt SOU 2007:38 behandlas inte som alternativa ”nollalternativ”. Enligt Miljöbalken skall även ”nollalternativ” redovisas.

DRD-metoden kan utformas på olika sätt så att den möter olika behov (detta borde å det snaraste uppdras åt DRD-gruppen att utreda och presentera).

ett nollalternativ som erbjuder säkerhet, vilket ett förlängt Clab inte gör

ett lager för ”långlivat låg- och medelaktivt avfall” i stället för skisserade SFL-lager

ett säkert mellanlager i väntan på teknikutveckling (där Clab inte behövs)

ett slutförvar på plats som Ivö-trakten där istiderna haft noll effekt på berg och sediment

Hur man än må se på saken, så är en sak helt klar, nämligen att SKB:s alternativredovisning är synnerligen ofullständig och självcentrerad. Därmed uppfylls inte miljöbalkens krav på ”bästa möjliga teknik” (BAT).

DRD-metoden kan innebära bättre teknik. Men då måste den först tillåtas bli beskriven på erforderligt sätt. Djupa borrhål inkluderar vissa fördelar. För att kunna fatta ett meningsfullt beslut måste samtliga alternativa metoder föreligga i adekvat presentation och behandling. Detta ser vi som ett grundläggande krav, som inte får åsidosättas (så som hittills skett).

10. Bästa lokalisering

SKB har koncentrerat sina undersökningar till de två kärnkraftskommunerna Östhammar och Oskarshamn. Valet är snarare gjort med socio-ekonomiska hänsyn, än geologisk lämplighet. Man synes därmed tulla på ”*kunskapskravet*”. Valet har fallit på Östhammarskommun, området vid Forsmark. Är detta verkligen den bästa platsen i Sverige? Vi tror inte att så är fallet. Mörner (2009) har pekat ut ett par platser som torde ha mycket bättre geologiska förutsättningar. Vi betvivlar att kravet på ”*bästa lokalisering*” uppfylls.

11. Hushållning och kretslopp

Av det högaktiva avfall som skall deponeras i ett förslutet KBS-3 förvar har bara ca 4% av energin utnyttjats. Detta kan knappast anses förenligt med hänsynsregeln om ”*hushållning och kretslopp*” liksom Rio-fördragets principer. För att en större del av den resterande energin skall kunna utnyttjas krävs att avfallet kan återtas i framtiden. Kärnavfallsrådet har nyligen (SUO 2010:6) förordat återtagbarhet. I ett DRD-förvar skulle avfallet bli både kontrollerbart och återtagbart. Med en idag bara anad men i framtiden kanske möjlig teknikutveckling, skulle avfallet därmed kunna bli en energireserv samtidigt som resterande avfall drastiskt minskar i volym och toxicitet.

Vattnets kretslopp i såväl närområdet som hela Östersjöregionen påverkas – förr eller senare – av utsläpp och läckage från kärnkraftverk och olika deponeringslager (SFR, SFL, BFA och KBS-3 förvar). Därmed är denna fråga en peribaltisk fråga (Esbo fördraget).

12. Slutsatser vad gäller ”preliminär MKB version”

- (1) det finns många allvarliga **luckor** i denna ”preliminära version”.
- (2) flera allmänna hänsynsregler **åsidosätts** i den preliminära MKB versionen.
- (3) vi finner den helt **oacceptabel** som MKB-dokument.
- (4) den s.k. KBS-3 metoden finner vi **omöjlig** att förena med adekvata MKB-krav.
- (5) alternativa metoder **måste** genomarbetas på ett brett och transparent sätt.

13. Fungerar – Fungerar Inte // Idag – Under 100.000 år

I boken *Detta Eviga Avfall* (Mörner, 2009) förekommer en bild (Fig. 1) där situationen för KBS-3 metoden beskrivs för nuläget respektive under 100.000 år.

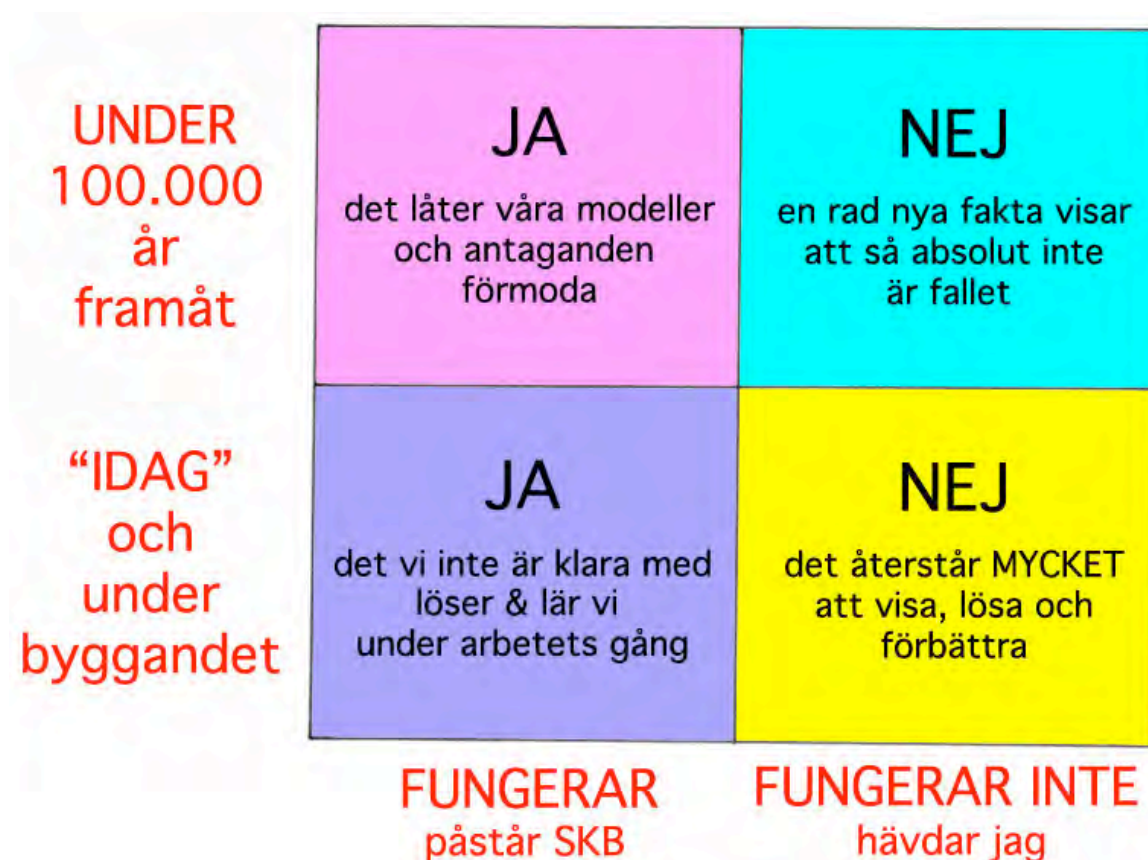


Fig. 1. Mörners bild (*Detta Eviga Avfall*, sid. 39) för att åskådliggöra skillnaden mellan SKB:s påståenden och den verklighet han (och DRD-gruppen) anser råda.

Att SKB hävdar ”ja” både i nuläget och under 100.000 år behöver inte kommenteras. Att Mörner och DRD-gruppen hävdar **”nej” i nuläget** är inte förvånande eftersom mycket verkligen återstår ”att visa, lösa och förbättra”. Kärnavfallsrådet (SOU 2010:6) gör liknande bedömningar i sak vad gäller både bentonitlera för pluggening och återfyllnad. Mörner och DRD-gruppen hävdar på goda grunder att ett KBS-3 förvar **inte fungerar under 100.000 år**. Skälet till detta är nya geovetenskapliga rön, vilka presenterad i en rad fackgranskade artiklar och i en stor monografi (Mörner, 2003) och som synes mycket väl förankrade i internationell expertis inom ämnena paleoseismologi och neotektonik.

DRD-gruppen hävdar därför med kraft att KBS-3 metoden är ett icke-fungerande blindspår.

14. Återtagbarhet och Kontroll

Redan på slutet av 1970-talet förordade Mörner ett "öppet förvar" i berget där avfallet förblev tillgängligt och kontrollerbart (*Ecce Homo*, 1980, sid. 28). Ole Kvalmstad och Alf Johansson vid Luleå Tekniska Högskola utarbetade DRD-konceptet. Kvamsdal knöts till avdelningen för Paleogeofysik & Geodynamik, som därmed adopterade DRD-metoden som den bästa lösningen av ett öppet förvar, och därmed ett berggrundsförvar över huvudtaget.

Med stort intresse noterar vi att Kärnkraftsrådet numera pläderar för återtagbarhet (SOU 2010:6). Men man synes då bara tänka på återtagbarhet från ett KBS-3 förvar. Hela idén med ett "slutförvar", var att det skulle förbli oåtkomligt. SKB har ibland hävdad att avfallet skulle kunna tas upp. Men i "*Komplettering till Fud-program 98*" skriver man själva att detta skulle vara en så kostsam process att det skulle kosta lika mycket som deponeringen – vilket i klartext innebär att den påstådda återtagbarheten bara är skenbar; en illusion.

I ett DRD-förvar skulle avfallet bli inte bara återtagbart, utan även förbli kontrollerbart och reparerbart (se vidare diskussioner i *Detta Eviga Avfall*). Dessutom förblir det tillgängligt för framtida teknikutveckling och applikation i framtida möjliga processer. Naturligtvis utformas ett DRD förvar så att oönskat intrång effektivt förhindras.

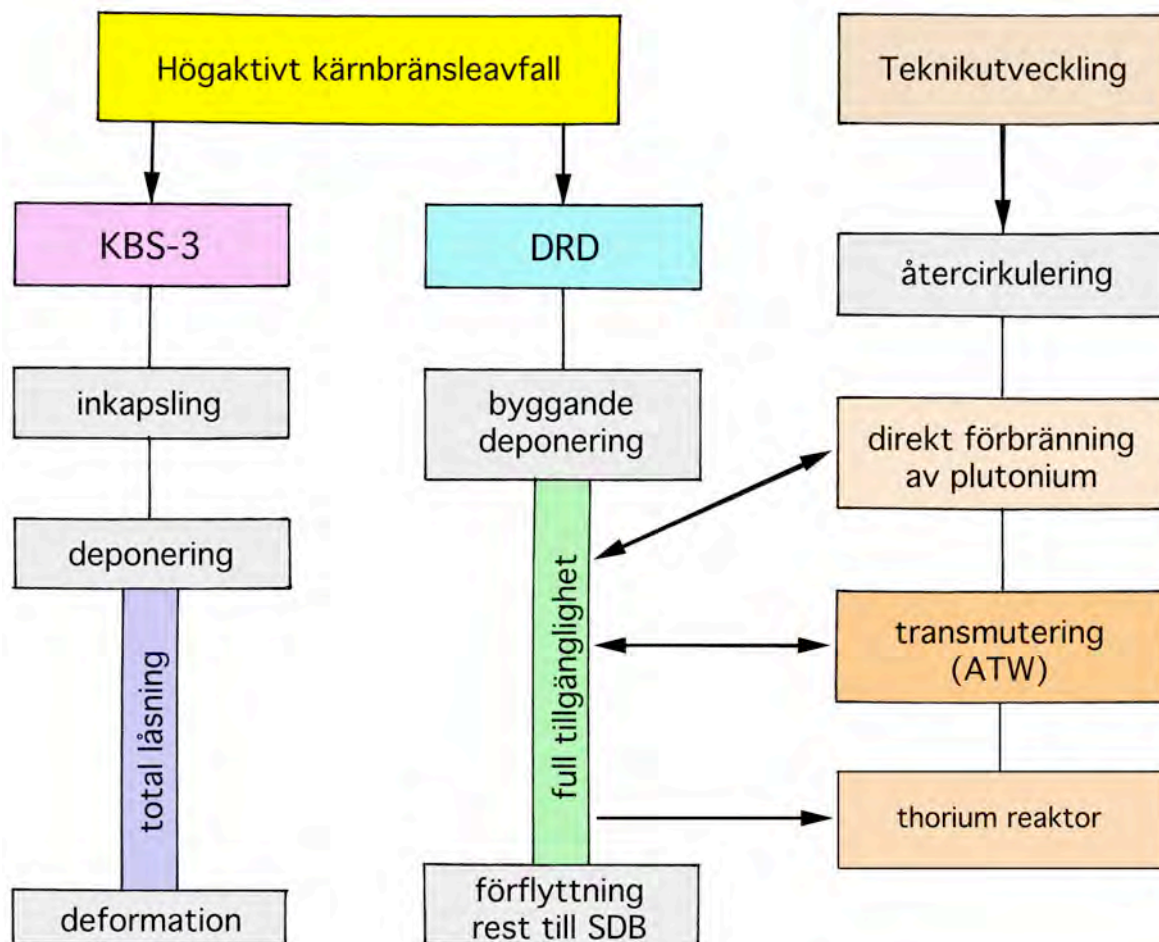


Fig. 2. Jämförelse mellan ett KBS-3 förvar (där låsningen är total) och ett DRD förvar (där tillgängligheten är fullständig) i förhållande till möjlig framtida teknikutveckling och användning av avfallet (från *Detta Eviga Avfall*, sid. 80). SDB står för superdjupa borrhål.

Det är dessa hänsynstaganden som gör att många länder valt ett "referendum" i väntan just på bättre teknikutveckling. Japan, t.ex., har valt 400 års referendum. Men hur förvarar man då avfallet på ett säkert men tillgängligt sätt – i ett DRD förvar, förstås.

15. DRD-konceptet

DRD står för Dry Rock Deposit. Metodens grundprincip är att en bergmassa omges av artificiella krosszoner, vilket får till följd att bergmassan innanför dräneras och blir en torr bergmassa. Inuti denna torra bergmassa byggs själva förvaret (gångar, tunnlar eller schakt). Fig. 3 ger en principskiss av skillnaden mellan ett DRD och ett KBS-3 förvar.

Samtidigt som de omgivande krosszonerna tillförsäkrar en torr berggrundsmiljö, så får dessa även en god positiv effekt vad gäller eventuella jordbävningar.

I ett DRD förvar förblir avfallet tillgängligt för kontroll, reparation, användning och även flyttning. Detta innebär utomordentliga fördelar – som ingen annan metod kan konkurrera med. Dessutom är den avsevärt mycket billigare (kanske bara 1/3-1/4 av KBS3-kostnaden).

Vad är då negativt? – Bara 1 sak: att metoden ännu inte tillåtits få en adekvat beskrivning.

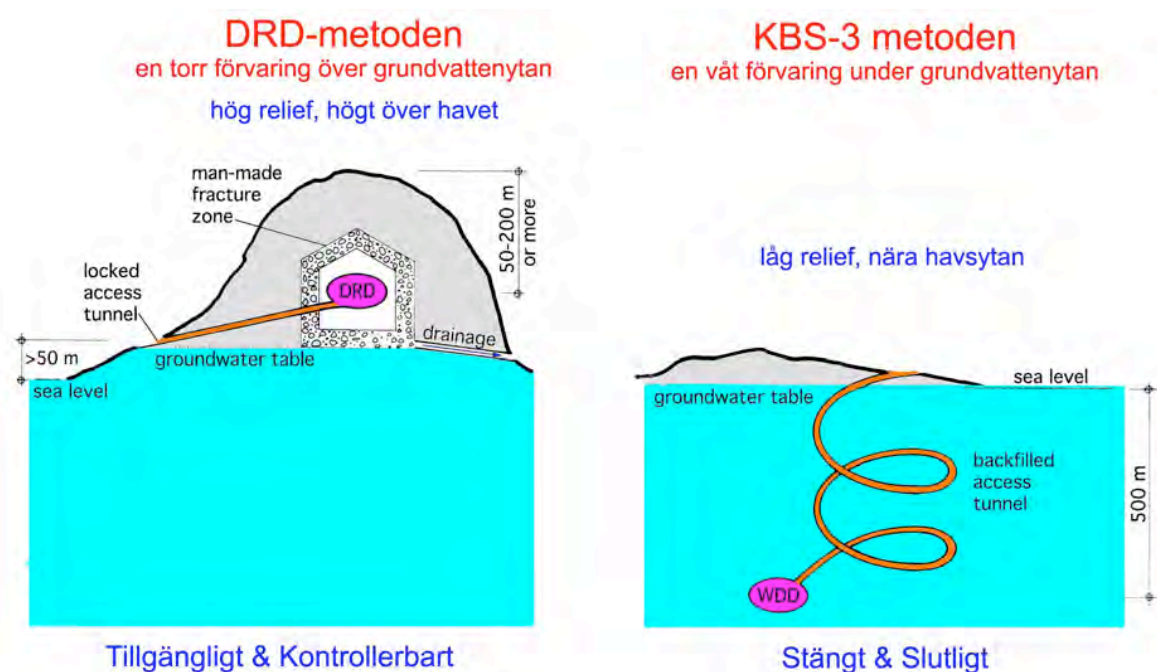


Fig. 3. Jämförelse mellan ett torrt DRD förvar och ett vått (WDD) KBS-3 förvar (från Cronhjort & Mörner, 2004; även Detta Eviga Avfall, sid. 54).

Ett DRD förvar kan utformas på många olika sätt:

- 1 – som ett ”förlängt mellanlager” (C2 i SOU 2007:38)
- 2 – som ett ”mellanlager i väntan på bättre teknik” (C3 i SOU 2007:38)
- 3 – som ett säkert förvar fram till nästa istid (huvudalternativet för DRD-gruppen)
- 4 – som ett adekvat långtidsförvar i Åsen-Ivö området (*Detta Eviga Avfall*, sid 76)

I förhållande till SKB:s handlingsplan skulle DRD metoden kunna utnyttjas i flera fall:

- a – ersätta Clab (som har ringa säkerhet): punkt 1 (C2) ovan
- b – ersätta KBS-3 metoden: punkt 3 och 4 ovan
- c – ersätta BFA-lagret (som måste anses helt undermåligt) – punkt 2, 3 och 4 ovan
- d – tjäna som modell för ett SFL förvar – punkt 2, 3 och 4 ovan

Det finns bara en naturlig och logisk handling att föreslå och fordra; nämligen att DRD metoden ges medel för en adekvat beskrivning (i alla dess olika former) så att den därefter kan diskuteras, analyseras och användas.

16. Angående slutförvaring av högaktivt kärnbränsleavfall

*Denna sida utgjorde en del av en separat skrivelse daterad 2009-03-18.
Den har dock samma aktualitet idag – och medtas därför även här.*

I Regeringsbeslut 38 av 2008-11-20 anger ni att alternativen skall beskrivas bättre. Detta uppdrar ni åt SKB att göra – vilket är helt följdriktigt men inte innebär någon allsidig analys bara en ny partsinlaga. Så här i slutskedet när det gäller att ”få alla korten på bordet” duger det inte längre med ”resultatstyrda” partsinlagor.

Det finns alternativ

En a dessa är vår DRD-metod (Dry Rock Deposit). Genom åren har vi om och om igen framhållit att denna metod åtminstone måste ges en ärlig och adekvat utredning. Vi har äskat anslag för detta hos SKI, men ansökan avsågs (med icke acceptabel motivering och med djupt jäviga bedömningar). I remissvaren från Stockholms Universitet 2004 och från Milkas 2008 framhölls mycket kraftigt att DRD-metoden måste ges medel för en adekvat och oberoende presentation. Både SKB och SKI har refererat till DRD-metoden på sätt som inte alls stämmer med metodens konstruktion och operativa system.

S.k. ”noll-alternativ” skall presenteras

Det förtjänas framhållas att Statens Råd för Kärnkraftsfrågor i sin bedömning av kunskapsläget 2007 (SOU 2007:38) betecknad DRD-metoden som ”nollalternativ”: nämligen deras alternativ C2 och C3 (sid 39). Alltså borde en analys av DRD-metoden vara ett krav på SKB. Men då borde bas-beskrivningen komma från dem som uppfunnit och drivit metoden (DRD-gruppen) – inte från konkurrentsidan (SKB).

DRD som ett försteg för transmutering och djupa borrhål

Det finns även ett tredje skäl för att låta utreda DRD-metoden, nämligen att denna metod (som framhålls i FUD-remissen från Milkas, 2008) ger handlingsfrihet och därmed kan på ett idealiskt sätt kombineras med eventuella framtida innovationer som skulle kunna tillåta transmutering, samt därefter (eller även direkt) deponering i djupa borrhål. Se Fig. 2 ovan.

SKB:s egen metod KBS-3 har – i ljuset av modern forskning – visat sig vara en ohållbar ”återvändsgränd”. Långtidsgarantierna på 100.000 år framstår närmast som ett geologiskt håån. Man tar sig friheten att frånsä från dagens internationella spetsforskning i en rad ämnen.

I princip har man bara två möjligheter:

- att acceptera nya rön: och då faller metoden och nya lösningar måste sökas
- att förneka allt som omöjliggör ett säkert KBS-3 förvar

Tyvärr har SKB valt förnekandets väg. Detta gäller framförallt dagens nya kunskap om i berget rådande processer och deras förändringar med tiden. Se vidare nedan.

När SKB hävdar att högaktivt kärnbränsleavfall kan förvaras under full säkerhet i berget under ”minst 100.000 år”, så är detta ett djupt ovetenskapliga påstående, inte bättre än när Tobaksmonopolet hävdar att cigarettökning är helt ofarligt. SKB talar i egen sak.

**Med sin snäva resultatstyrning
missar man målet: ett säkert slutförvar**

På 70-talet hävdades att det svenska urberget var helt stabilt och att denna stabilitet tillförsäkrade ett säkert långtidsförvar i berget av högaktivt kärnbränsleavfall. Man angav denna "stabilitet" (påstådda) som själva grundförutsättningen för ett sådant handlande. (Detta finns beskrivet i böckerna *Ecce Homo*, 1980, och *Detta Eviga Avfall*, 2009).

Men nu har över 30 år förrunnit och situationen är – om verklighetens fakta skall få råda – en helt annan: borta är stabiliteten och i dess ställe har kommit en ny modärn forskningsbild där jordbävningarna är stora och många, där inga respektavstånd gäller och där något helt nytt tycks förekomma; explosiv metangasavgång som ger upphov till kraftiga tektoniska deformationer. I den miljön går det inte att lita på ett KBS-3 förvar, låst nere i berggrunden.

SKB söker förneka dessa nya resultat. I sin blinda resultatstyrning, tillåter SKB sig ta friheten att frånsä från observationsfakta som kan kontrolleras i fält, och i dess ställe stöder man sig på obekräftade datamodeller och teoretiska beräkningar. Allt för att framhärda i att påstå att man har en metod (KBS-3) som ger ett "slutförvar" som uppges vara säkert "i minst 100.000 år". Detta påstående saknar dock vetenskaplig teckning.

Kulmen nås när man utmönstra internationell spetsforskning med argumentet att den bara utgör "*extrema idéer som SKB inte behöver beakta*". Här passerar man anständighetens gräns och når ren tarvlighet. Dessutom bryter man flagrant mot miljöbalkens hänsynsregler om "kunskapskravet" och "bevisbördan".

Här bryter en sansad dialog med SKB naturligtvis samman och det ända som återstår är att vända sig direkt till Regering och Tillsyningsmyndighet. Därav denna skrivelse.

17. Extrema idéer eller Spetsforskning

Med anledning av uttalandet "*extrema idéer som SKB inte behöver beakta*" skrev jag ett "Öppet brev till SKB", daterat 2 januari, 2009 (11 sidor inklusive bilagor):

Vid SKB:s jubileumsföreställning på Tekniska Museet den 25 september, 2008, under rubriken "*Från Problem till Lösning*", så frågade jag panelen om deras syn på de nya forskningsresultat som kommit fram vad gäller seismisitet, respektavstånd och metangastektonik.

SKB:s informationschef Saida Engström gav ett klart svar:

Dessa resultat representerade "*extrema idéer*", och "*extrema idéer behöver vi inte beakta*".

Svaret finner jag oacceptabelt och forskningsetiskt förkastligt (någon repliktid gavs inte).

Eftersom jag är övertygad att våra resultat representerar internationell spetsforskning och inte alls "*extrema idéer*" (och då stödjer jag mig på peer-reviewed internationella publikationer, internationella symposia, key-note presentations, internationella exkursioner och ett aktivt lagarbete av relevanta internationella experter), så vill jag härmed få svar på följande fråga.

Anser SKB att våra resultat (beskrivna i min bok "*Paleoseismicity of Sweden – a novel paradigm*" och relaterade peer-reviewed papers, samt i våra Fud-remisser 2004 och 2008 representerar "*extrema idéer som SKB inte behöver beakta*" (i citat av er informationschefs uttalande)?

Jag begär omgående svar på min fråga.

Naturligtvis är det så att det inte finns något av väsentlig betydelse för en optimal avfallshandling, som SKB har rätt att "inte beakta" – speciellt inte om detta är av sådan sprängkraft att hela deras projekt äventyras och kanske t.o.m. omintetgörs. Vi återoppar forskningsetik och miljöbalk.

18. Problem med Tillsyningsmyndighetens integritet

Vi har redan tidigare riktat kritik över det sätt som SKI summerat inkomna yttranden över Fud-rapporterna (1983-2008). Det har ofta förekommit att man summerar en remissrunda med ett övergripande uttalande som ”ingen allvarlig kritik har framförts”, ”remissyttrandena är överlag positiva” och liknande. Trots detta har vi (i yttrandena från SU) framfört ytterst allvarlig kritik. Men de frågar SKI inte själv drev, frånsåg de från. Därmed blev bilder skev och missvisande. Detta har upprepats genom åren.

Dessutom påstod man sig ha ”regeringsuppdrag att syna ett slutförvar”. Därför hävdade man att man inte kunde beakta ett DRD förvar, som man klassat som ”ett annat mellanlager” (se dock sid 9 med variant 1-4).

Vid symposier och möten har det ofta förekommit att Öjvind Toverud (SKI) gått in i debatt på SKB:s sida; inte med fakta men med tyckande. Det synes olämpligt för en representant för en Tillsyningsmyndighet.

I maj 2009, ordnade jag en exkursion för SSM (Toverud, Dverstorp & Sonnerfelt samt 4 av deras konsulter) och Kärnavfallsrådet (Gert Knutsson med bisittare Bo Olofsson från KTH) till Hudiksvall för att på plats få ta del av och diskutera (1) stora jordbävningar, (2) Boda grottan och andra lokaler där berget spruckit och deformerats milsvitt bort från epicentrum, samt (3) spår av metangastektonik.

Detta gjorde jag eftersom dessa frågor är centrala för hela KBS-3 konceptet. Men också för att Tillsyningsmyndighet och Kärnavfallsråd skulle få en chans att bilda sig ett eget omdöme i fält. Så långt, allt gott.

Emellertid visade det sig att Toverud instruerat sina konsulter (där inga var specialister i dessa frågor) att söka alternativa tolkningar. Därmed blev konsulternas insats något pervers. Man uttalade sig vitt och brett i saker man inte kunde och bara fått en inblick i vid ett kort besök (stundom flödade osakligheterna). Frånsett detta var det väl både rätt och riktigt att erbjuda detta observationstillfälle i fält.

Gert Knutsson och Bo Olofsson bör kunna ge en mer nyanserad bild av sina observationer.

19. ”Har Mörner rätt – ja, då gäller bara DRD metoden”

Att metanis explosivt kan transformeras till metangas på sätt som kan generera omfattande berggrundstektonik, är en ny hypotes. Flera nya fältfakta ger stöd till denna tolkning. När vi besökte Skålboberget (där omfattande deformation med tillhörande 20 m höga tsunamivåg inträffade för 2000 år sedan) hördes någon fråga – ”Tänk om Mörner har rätt?” varpå Toverud svarade ”ja, då gäller bara DRD metoden”.

Och det är väl just så det är. Och det var ju just därför jag tog deltagarna till dessa lokaler. Och återigen; det är SKB:s skyldighet att bevisa att så inte är fallet – i full enlighet med de krav som Miljöbalken ställer. Att söka ta sig ur denna kniptångssituation med ett löst uttryck: ”*extrema idéer, som SKB inte behöver beakta*” är direkt **klandervärt**.

20. Kanske världens bäst studerade och beskrivna forntida jordbävning

Den jordbävning som inträffade 9663 varvår BP är utomordentligt väl registrerad (Fig. 4) och beskriven (Mörner, 2003, sid 29-223). Två stora internationelle exkursioner (1999 och 2008) har besökt nyckellokalerna. Informationskedjan är solid och unik (Fig. 4).

THE 9663 vBP PALEOSEISMIC EVENT

PRIMARY THRUST FAULT

~20 m thrust, ~20° angle, ~50 m slip
Fault length 20-150 km

HEAVY BEDROCK FRACTURING

A: some 100 sites (49 investigated in details)
over a distance of 50 km from the epicentre
B: extensive rock avalanches at some sites

EARTH SLIDES

(hard to detect because of vegetation and sediment cover)
3-4 slides recorded at the Boda Cave
and dated at 9663 vBP

HEAVY LIQUEFACTION

A: recorded at 13 sites over an area of 80x40 km
B: 5 separate phases recorded at 2 independent sites
C: liquefaction event dated at 9663 vBP

STRONG TSUNAMI EVENT

A: recorded at 13 sites over 80x25 km
B: wave height at least 15 m
C: tsunami event dated at 9663 vBP

EXTENSIVE TURBIDITE

A: recorded at 25 varved clay sites in the near field
and several additional in the far field
B: extending for 310 km in N-S direction
C: dated exactly at varve 9663 vBP

METHANE VENTING

A: recorded in the varved clay (the "spotted zone")
B: the "spots" end sharply with varve 9663 vBP
(i.e. the seabed at the time of the event)
C: magnetic venting tectonics

Fig. 4. Jordbävningen som inträffade 9663 varvår BP hade sitt epicentrum innanför Hornslandet. Bergsytorna sprack över en yta på 50 km (ett 100-tal lokaler varav 49 detalj-studerade). Liquefaction, en minst 15 m hög tsunamivår och en slamström över havsbotten från Sundsvall ner till Uppsala (320 km), samt metangas avgång dels genom lerorna dels explosivt genom berget talar sitt tydliga språk om en jordbävning av kolossal magnitud; runt 8 eller kanske även över 8 på Richterskalan. Med alla olika uttrycksparametrar och alla detaljstuderade lokaler är denna jordbävning kanske världens bäst studerade och beskrivna forntida jordbävning (paleoseismiska händelse).

Det är en skymf mot vetenskap, när SKB fräckt och groteskt utdömer allt som *"extrema åsikter som SKB inte behöver beakta"*. Så har man inte etisk rätt att behandla fackgranskade fakta. Det är **ett direkt brott** mot Miljöbalkens regler och krav.

21. Jordbävningar, respektavstånd, metantektonik

Idén om ett stabilt urberg – grundförutsättningen för ett KBS-3 förvar – har havererat. I dess ställe har en ny paradigm manifesterats där berget visat sig vara dynamiskt aktivt med stora & många jordbävningar (som får SKB:s jordbävningsscenario att kolapsa), med en bergsuppspräckning som omöjliggör SKB:s minimala ”respektavstånd” och med en ny metantektonik (som inte ens berörs av SKB i några dokument).

**Det spelar ingen roll vad jag tycker eller vad ni tycker,
för det är SKB:s skyldighet att bevisa att vi har fel
om man vill framhärda med att driva KBS-3 konceptet.
Så enkelt är det – faktiskt**

I detta läge, avstår SKB från argumentering i sak och väljer att påstå att dessa fakta är *”extrema idéer som SKB inte behöver beakta”*.

Men, herr Minister,
och mina Damer och Herrar i beslutsställning, rådsställning eller tillsyningsställning,
Är inte detta att sänka sig för lågt? Kan ni verkligen acceptera ett sådant handlande i denna fråga som kommer att få fundamentala konsekvenser *”i minst 100.000 år”*?

”Bollen är er”, som det heter på idrottsspråk. Mitt ansvar är att påtala situationen och dokumentera bakomliggande, i naturen observerbara, fakta.

Om ni finner själva forskningsfakta tunga att läsa (*”Paleoseismicity of Sweden – a novel paradigm”*, 320 sidor, Mörner, 2003) så är *Detta Eviga Avfall* (Mörner, 2009) både lättläst och informativ (dessutom roande och vacker), och kanske nödvändig att läsa som balans till SKB:s resultatfixerade, närmast propagandistiska, skrifter.

22. ”alla korten på bordet” – i tid

Det är aldrig för sent att ändra sig om nya fakta framkommer som omöjliggör en tidigare tänkt väg (lösning). Det gäller naturligtvis i allra högsta grad SKB:s koncept för hur man skall omhänderta det högaktiva kärnbränsleavfallet (d.v.s. KBS-3 metoden).

”Djupa borrhål” (eller snarare ”Superdjupa borrhål”) är ett intressant alternativ. En rapport föreligger där metoden beskrivs. Den har även givits ett separat ”hearing” seminarium i KASAM-regi.

DRD-metoden har konstant förvägrats anslag för en adekvat beskrivning och presentation. Detta i sin tur har öppnat möjligheter både för SKB och SKI till uttalanden om metoden, som inte alls stämmer med våra egna beskrivningar och utformningskoncept. Metod C2 och C3 i SOU 2007:38 stämmer dock väl överens med utformning 1 och 2 (se ovan sid 9).

Inför ett kommande beslut om hur det högaktiva avfallet skall förvaras, finner vi det ganska självklart att beslutsfattarna måste ha ”alla korten på bordet” – och det kan man inte ha om inte DRD metoden givits tillfälle (och medel) att beskrivas och presenteras i skrift i alla sina olika utformningsmöjligheter (sid. 9).

Cronhjort & Mörner (2004) har gjort en bedömning och mer skissartad beskrivning i *Radwaste Solutions* i USA. Men den artikeln (väl *peer-reviewed*) refereras vare sig av SKB eller SKI. Vad som nu behövs är en utförlig beskrivning på svenska – intill dess en sådan rapport föreligger, blir detta alternativ öppet för misstolkningar och åsidosättande.

23. Hur går man vidare?

SKB säger sig snart vara klara men en ansökan om byggnadstillstånd för ett slutförvar enligt KBS-3 modellen. Man kan fråga sig varför man gör så. Skälen kan vara två:

- (1) man kanske verkligen vill börja bygga ett slutförvar
- (2) man måste hålla illusionen uppe för att motivera vidare reaktorutbyggnad

När regeringen nu framlagt förslag om lagändring vad gäller förutsättningarna för att driva och vidareutveckla kärnkraftreaktorerna (höja kapaciteten eller öka antalet), så hamnar hela avfallshanteringsfrågan i ett annat läge. En "lösning" (verklig eller skenbar) på avfallshanteringen är inte längre nyckeln till fortsatt kärnkraftsutbyggnad.

I det läget kanske det finns plats för **sans och eftertanke**.

Nu – om inte förr – måste det vara på sin plats att seriöst analysera alla andra tillbuds stående alternativ samtidigt som man bevakar den framtida teknikutvecklingen (Fig. 2).

Det blir då dags att söka "*lägga alla lorten på bordet*", d.v.s. att ta fram adekvata beslutsunderlag för alla metoder och undermetoder.

24. Slutsatser

SKB:s "preliminära MKB version" liksom tidigare dokument över långtidsprocessen (t.ex. SR-Can), är inget man bygger ett slutförvar på som måste hålla "i minst 100.000 år".

Själva grundkonceptet – KBS-3 metoden – vilar på förutsättningar vilka idag inte längre är korrekta.

Man bör notera att en enhällig miljörelse bedömt KBS-3 metoden som omöjlig (Gimo, 2009).

Alternativ "Djupa Borrhål" finns beskrivet och dessutom behandlat vid separat "hearing". Tankar, utformningsförslag och tekniska lösningar bör naturligtvis vidareutvecklas.

Alternativ "DRD-metoden" – i alla sina olika utformningsmöjligheter – finns ännu inte beskriven på ett sätt som erbjuder klara bedömningsgrunder. Vi har om och om genom åren både hävdats och fordrat att så måste ske, och medel därför beviljas. Detta har framförts till SKB i Fud-granskning efter Fud-granskning. Om detta har ansökts till SKI år 1999. Det har även krävts i separat skivelse till Regeringen och SSM i mars 2009.

25. Förslag: medel-rapport-hearing

Herr Miljöminister, Fru Kanslichef (i Kärnavfallsrådet), Fru Generaldirektör (för SSM)

Se nu till att **medel** anslås för en beskrivning och presentation av DRD metoden i alla sina underavdelningar, vilken kan ligga till grunden för en seriös bedömning.

När så skett och en adekvat **rapport** föreligger i tryck, synes det vara på sin plats att ventilerat konceptet vid "**hearing**"-symposium (lik den som gjordes för Djupa Borrhål).

Saltsjöbaden den 1 mars, 2010

Nils-Axel Mörner

På DRD-gruppens vägnar: Rösundavägen 17, 13336 Saltsjöbaden, morner@pog.nu

DRD-gruppen

DRD-metoden uppfanns av Ole Kvamsdal & Alf Johansson.

Den patenterades av Uwe Eggert, Alf Johansson och Ole Kvamsdal (Eggert et al., 1993).

Agne Rustan (docent vid LTH) anammande idén (Rustan et al., 1989).

Ole Kvamsdal blev tekniker vid Paleogeofysik & Geodynamik vid SU år 1992 och

DRD-metoden kom därefter att drivas av P&G-enheten och Nils-Axel Mörner

i Fud-granskningar, föredrag och publikationer (t.ex. Mörner, 2001).

I mars 1999 ingick en större ansökan signerad Mörner, Kvamsdal och Rustan men omfattande en hel grupp ("DRD-gruppen") bestående av:

Nils-Axel Mörner (Docent) – paleoseismicitet, neotektonik, geodynamik (ledare)

Ole Kvamsdal (tekniker, innovatör) – baskoncept och tekniska frågor

Agne Rustan (Docent, LTH) – bergtekniska frågor, krosszoner, design

Björn Klevebring (Tekn.Dr.) – korrosion

Christian Bronge (Fil.Dr.) – hydrologi, design

Per-Einar Tröften (Fil.Dr.) – paleoseismologi, tektonik

Alf Johansson (tekniker, innovatör) – baskoncept och tekniska frågor

Bengt Johansson (Professor) – historiska, sociala & etiska aspekter

Mattias Eggert (ekonom) – ekonomi, marknadsföring

Kjell Westerberg (AMS) – ekonomi

Tekn. Dr. Björn Chronhjort (filosof och tekniker) knöts till DRD-gruppen år 2002.

Chronhjort presenterade metoden vid möte i USA och en peer-reviewed artikel

publicerades i facktidskriften *Radwaste Solutions* (Chronhjort & Mörner, 2004).

Boken *Detta Eviga Avfall* (Mörner, 2009) beskriver DRD-metodens fördelar, möjligheter och anger även potentiella platser för ett långtidsförvar (*op.cit.*, sid. 76).

Referenser

Chronhjort, B. & Mörner, N.-A., 2004. A question of dry vs. wet. The case for Dry Rock Disposal of nuclear waste. *Radwaste Solutions*, May/June 2004, p. 44-47.

DRD, 1999. Alternativ lagring av kärnbränsleavfall i torrt berggrundsförvar enligt metoden "Dry Rock Deposit" DRD. Ansökan om forsknings- och utredningsbidrag (30 sidor) till SKI från DRD-gruppen (Stockholm & Luleå, 8 mars, 1999).

Eggert, U., Johansson, A. & Kvamsdal, O., 1993. *DRD-metoden: en korrekt presentation*. Gnosjö Service Tryckeri AB.

Gimo, 2009. Miljöorganisationernas möte i Gimo, 28-30 augusti 2009, organiserat av MKG, där man bl.a. enhälligt fördömde KBS-3 metoden som slutförvar.

KASAM, 2007. *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet*. SOU 2007:38.

Kärnavfallsrådet, 2010. *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2010*. SOU 2010:6.

Milkas, 2008. Yttrande över Fud 2007. Se även: www.milkas.se

Milkas, 2010. Yttrande över SKB:s "preliminär MKB version", 2009.

Mörner, N.-A., 1980. *Ecce Homo*. P&G-tryck, Ekenäs (56 sidor).

Mörner, N.-A., 2001. In absurdum: long-term predictions and nuclear waste handling. *Engineering Geology*, 61, 74-82.

Mörner, N.-A., 2003. *Paleoseismicity in Sweden – a novel paradigm*. INQUA Committee on Paleoseismology, Reno. P&G, Stockholms University (320 sidor).

Mörner, N.-A., 2005. Yttrande från Stockholms Universitet över Fud-program 04.

Mörner, N.-A., 2008. Se: Milkas, 2008

Mörner, N.-A., 2009. *Detta Eviga Avfall*. Pqr-kultur, Mariefhamn (100 sidor). www.pqr.ax

Mörner, N.-A., 2009. Angående slutförvaring av högaktivt kärnbränsleavfall. Skrivelse till Sveriges Regering, Energidepartementet, samt Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM).

Rustan, A., Kvamsdal, O. & Johansson, A., 1989. Torrt underjordslager i berg för förvaring av miljöfarligt avfall. *SAKAB* rapport.

To Björn Dverstorp, SSM, for the NEA review team of experts, IRT

At the IRT presentation of “status of review” on Friday the 16 of December, I posed a question.



I have a question with respect to what you said about “*What can happen if anything goes wrong*” and “*the treatment of uncertainties*”, because in your review you only talked about the material presented by SKB. So my question is:

What do you do with material that opposes and contradicts the statement given by SKB?

In science, we may have different opinions and interpretations. Observational facts that have been repeatedly published in peer-reviewed international journals can, in my opinion, not be neglected: they have to be considered.

SKB has taken as a rule, it seems, to neglect material that does not fit their scenarios. They have even said “*SKB does not need to consider extreme ideas*”. What I am talking about is by no means “extreme ideas”, rather boundary science.

- all the key sites have been visited by over 100 international experts at excursions in 1999, 2008, 2008 and 2011.
- our findings have been presented in 38 peer reviewed paper in international journals (plus a number of additional papers); 26 of them in the last 20 years listed below – can be ordered.
- our studies have been performed as a team work including several international top-experts.
- bedrock deformation, sediment deformation and magnetic characteristics of liquefaction have been covered by 3 Ph.D. projects at the department of Paleogeophysics & Geodynamics at Stockholm University (which I headed 1991-2005).
- my monograph “Paleoseismicity of Sweden – a novel paradigm (2003) describes 54 paleoseismic events in details (today we have a documentation of 59 events) – can be ordered (via SSM).
- the methodology of “multiple criteria” was recently described in *Quaternary Research* (vol. 242, 2011, p. 65-75).

To ignore all this is neither acceptable nor scientifically ethical. Still, this is just what SKB has done despite the fact that we have called attention to it in review after review through the years.

The main questions were presented in a letter of December 10, attached below. Today, I add some problems with respect to the method used and the place chose + a reference list of the last 20 years.

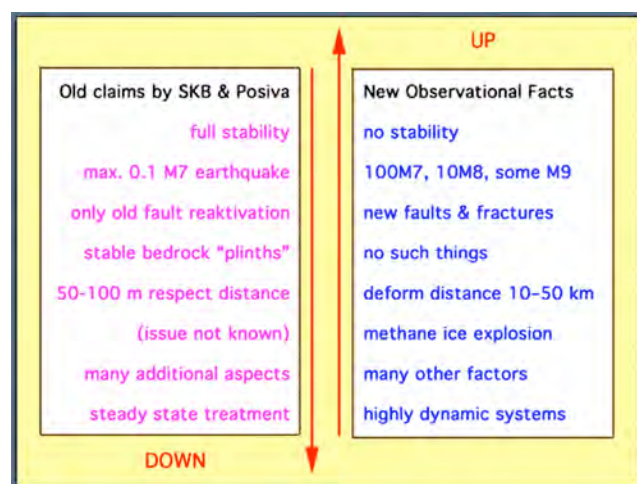
Geological, Geodynamic & Paleoseismic considerations

The KBS-3 method proposed for the storage of high-level nuclear waste in the bedrock under “safe” conditions for a minimum time of 100,000 years was proposed and in the 1970s and coined in 1983.

The basic assumption for this was an old concept of an exceptional bedrock stability of the Fennoscandian Shield, and it was firmly stated that this was the basic requirement for the method proposed.

Today, in the light of modern achievements in geology, geodynamics and Paleoseismology, this stability concept fundamentally revised.

Therefore, one must talk about a paradigm shift, or an “conceptual fault” as illustrated in the below picture (from *Detta Eviga Avfall*, Mörner, PQR-kultur, 2009).



(1) The Earthquake scenario

SKB (and Posiva) limit their analyses to data from seismology and a few historical events, and make predictions for 100,000 years.

Modern Paleoseismology provides a totally different picture, however. This applies both to magnitudes (up to $M > 8$) and frequency (7 events in 102 varve years).

At present 59 events are recorded, 17 of those were linked to significant tsunami events (of up to 20 m wave height).

Over a time period of 100,000 years, this implies a totally different seismic environment than that proposed by SKB. The difference in energy release is in the order of 10^{12} , which seems to invalidate the proposed “safety” of the KBS-3 concept.

(2) The “respect distance”

SKB claims that the canister can be placed as close as 50–100 m from regional fault-lines and fracture zones. SKB claims that this is the safe “respect distance” they can rely on.

Observational facts violate this proposal in most sites investigated. At the 10,430 BP event in the Stockholm region, a 6-8 m lateral fault was formed 1 km from the primary fault. At the 9663 BP event, strongly fractured bedrock is recorded (some 100 sites) at least up to 40 km from the epicentre.

This implies that there is not bedrock volumes enough for a KBS-3 repository.

(3) New faults

SKB claims that all of the postglacial faults are reactivated pre-existing faults.

Reactivation is an important factor, especially when it concerns the deglacial faults, but there are several observations of new fault both in Sweden and Finland.

(4) Explosive methane venting tectonics

SKB and Posiva do not consider this factor.

Our group have documented and described this novel factor where methane hydrate in the bedrock is explosively transformed into methane gas. This is recorded geochemically in the varved sediments. It is also recorded as violent bedrock tectonization when the ice explosively is transformed into gas. The last event occurred as late as 2000 BP, and it set up a 20 m high tsunami wave.

This factor seems to invalidate all talk about a safe deposition of high-level waste according to the KBS-3 concept.

Finally, because these modern findings have been extensively documented and presented in peer-reviewed scientific articles in well-known international journals, and because they all are fundamental for the risk assessment of the proposed KBS-3 repository at Forsmark, they have to be considered by SKB as well as SSM and “kärnavfallsrådet”.

The Method chosen and the DRD alternative

In response to the problems reviewed above we have proposed an alternative method, the so-called DRD-method (Dry Rock Deposit). It means that one chose a high bedrock relief and drain a suitable bedrock unit by surrounding it by artificial fracture zones. Those fracture zones serves both as a mode of draining the rock, and as an efficient barrier against seismic deformation. The repository will be effectively closed against unwanted intrusion. The repository will be placed in tunnels at a suitable depth depending upon the bedrock height; 100 to 300 m seems feasible. In a DRD repository the waste will remain accessible for the bad (reparation) as well as for the good (future utilization, destruction or relocation). At the same time as the waste will become safely stored underground, it will provide us freedom of action awaiting future technological innovations.

A DRD-repository can be built in many different ways:

1. as temporary storage of SFL-type
2. as temporary storage of high-level nuclear waste (substituting Clab and NPP storage)
3. as a final repository of high-level waste at a place of no glacial effects (e.g. the Ivö region)

We have over and over again proposed that this alternative should be given money for a detailed presentation of its function, building and design (lastly 2010-03-01 to the Minister of Energy).

The Place chosen and better alternatives

It would be quite remarkable if the best sites for a KBS-3 repository really should be at the two NPP sites at Forsmark and Oskarshamn. Those sites were not chosen because of extra favourable geological conditions, but rather for the municipal acceptance.

One may note and consider that Forsmark lies in a wide shear zone. At least 5 paleoseismic event have been documented in this region. Therefore, it seems (at least for me) reprehensible when SKB claims that the seismic risk for a M 7 event in the next 100,000 years is only 0.1.

In fact, there exists many much more suitable sites in Sweden (as discussed on p. 68, 76-78 in my book *“Detta Evia Avfall”*, PQR-kultur 2009). The most interesting alternative site discussed, is the Åsen-Ivå region in southeast Sweden. This region seems to have remained “in the shadow” between the main ice lobes in the Baltic and over SW Sweden during all the Quaternary glacial movements. This is evident from the occurrence of undeformed deltaic beds (sand and clay) directly underlying the Quaternary cover, and leading their origin in the Upper Cretaceous about 80 million years ago (as recorded by pollen, macrofossils and paleomagnetism).

This is just one example of a much more geologically favourable location of a repository. SKB has not even considered those alternatives.

Even more interesting it the fact that this might also be an ideal site for a DRD-repository. A steep bedrock hill rises from the sedimentary plain at +20 m to a crest height of +161 m. Draining a suitable rock unit in this hill by artificial fracture zones would establish excellent conditions for a DRD-repository with a roof of about 150 m bedrock and a deformation potential that seems to be almost zero (judging from the underformed sedimentary beds for 80 million years). This means that one may here even establish conditions allowing us to talk about a final repository, which in our opinion would at least be safer than a KBS-3 repository at Forsmark.

This needs, of course, to be tested, discussed and described in details. We have asked for support to undertake such studies, but been refused to obtain this.

One thing is for sure; there are alternative methods and alternative sites.

References (peer-reviewed) 1991-2011

Bold = recommender reading for the IRT members

- Mörner, N.-A., 2011. **Paleoseismology: the application of multiple parameters in four case studies in Sweden.** *Quaternary International*, 242 (1), 65-75.
- Mörner, N.-A. & Dawson, S., 2011. Traces of tsunami events in off- and on-shore environments. Case studies in the Maldives, Scotland and Sweden. In: "*Tsunami, Research and Technologies*", p. 371-388, Intech Publ.
- Mörner, N.-A., 2009. Late Holocene earthquake geology in Sweden. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 316, 179-188.
- Mörner, N.-A. & Sun, G., 2008. Paleoearthquake deformations recorded by magnetic variables. *Earth Planet Sci. Letters*, 267, p. 495-502.
- Mörner, N.-A., 2007. The Fenris Wolf in the Asa Creed in the light of paleoseismics. In: Piccardi, L. & Masse, W.B. (eds), *Myth and Geology*, Geol. Soc. London, Spec. Publ., 273, p. 117-119.
- Mörner, N.-A., 2006. 2500 years of observations, deductions, models and geothetics. *Boll. Soc. Geol. It.*, 125, p. 259-264.
- Sun, G., 2005. The characters of magnetic records of deformed sediments with emphasis on liquefaction structures. *PhD-thesis 10 at P&G*, 122 pp, Stockh. Univ.
- Mörner, N.-A., 2005. An investigation and catalogue of paleoseismology in Sweden. *Tectonophysics*, 408, p. 265-307.
- Mörner, N.-A., 2004. Active faults and paleoseismicity in Fennoscandia, especially Sweden: Primary structures and secondary effects. *Tectonophysics*, 380, 139-157.
- Cronhjort, B. & Mörner, N.-A., 2004. A question of dry vs wet. The case for Dry Rock Disposal of nuclear waste. *Radwaste Solutions*, May/June, p. 44-47.
- Mörner, N.-A., 2003. **Paleoseismicity of Sweden – a novel paradigm.** A contribution to INQUA from its Sub-commission of Paleoseismology, Reno 2003, ISBN-91-631-4072-1, 320 pp, (hard cover, colour print, description of 54 postglacial paleoseismic events).
- Mörner, N.-A., 2003. Reply to Discussion. *Engineering Geology*, 68, 405-407.
- Mörner, N.-A., 2001. In absurdum: long-term predictions and nuclear waste handling. *Engineering Geology*, 61, 74-82.
- Mörner, N.-A., Tröftén, P.E., Sjöberg, R., Grant, D., Dawson, S., Bronge, C., Kvamsdal, O. & Sidén, 2000. Deglacial paleoseismicity in Sweden: the 9663 BP Iggesund event. *Quaternary Science Review*, 19, 1461-1468.
- Tröftén, P.E., 2000. The use of varved clay chronology for dating paleoseismic events: the Erstavik record in the Stockholm area, south Sweden. *Sedimentary Geol.*, 130, 167-181.
- Mörner, N.-A., 1999. Paleo-tsunamis in Sweden. *Phys. Chem. Earth*, 24, 443-448.
- Tröftén, P.E. & Mörner, N.-A., 1997. Varved clay chronology as a means of recording paleoseismic events in southern Sweden. *J. Geodynamics*, 24, 249-258.
- Tröftén, P.-E., 1997. Neotectonics and paleoseismicity in southern Sweden with emphasis on sedimentological criteria. *PhD-thesis 8 at P&G*, 124 pp, Stockh. Univ.
- Mörner, N.-A., 1996. Liquefaction and varve disturbance as evidence of paleoseismic events and tsunamis: the autumn 10,430 BP event in Sweden. *Quaternary Science Review.*, 15, 939-948.
- Mörner, N.-A., 1995. The Baltic Ice Lake – Yoldia Sea transition. *Quaternary International*, 27, 95-98.
- Mörner, N.-A., 1995. Paleoseismicity – the Swedish case. *Quaternary International*, 25, 75-79.
- Sjöberg, R., 1994. Bedrock caves and fractured rock surfaces in Sweden. Occurrence and origin. *PhD-thesis 7 at P&G*, 110 pp, Stockh. Univ.
- Mörner, N.-A., & Tröftén, P.E., 1993. Paleoseismotectonics in glaciated cratonal Sweden. *Z. Geomorph. N.F.*, 94, 107-117.
- Mörner, N.-A., 1993. Boulder trail from a subglacial earthquake, Äspö, Sweden. *Z. Geomorph. N.F.*, 94, 159-166.
- Mörner, N.-A., 1992. From 100,000 BP to 100,000 AP. *GFF*, 114, 176-177.
- Mörner, N.-A., 1991. Intense earthquakes and seismotectonics as a function of glacial isostasy. *Tectonophysics*, 188, 407-410.

Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



Contents lists available at ScienceDirect

Quaternary International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/quaint

Paleoseismology: The application of multiple parameters in four case studies in Sweden

Nils-Axel Mörner

Paleogeophysics & Geodynamics, Rösundavägen 17, S-13336 Saltsjöbaden, Sweden

ARTICLE INFO

Article history:

Available online 16 April 2011

ABSTRACT

Many different primary and secondary effects of an earthquake can be used in order to reconstruct and determine a paleoseismic event. In this case we advocate the application of multiple criteria. Four case studies in Sweden are examined; two late-glacial and two Late Holocene events. Special accounts are given of bedrock fracturing away from the primary fault, liquefaction (with multiple phases and structureless sand layers), tsunami, distribution of seabed turbidites, dating by varves, methane venting tectonics and magnetic grain rotation. The multitude of observational data related to all four cases are combined into simple tables where the environmental and spatial effects can be explicitly assessed in terms of documentation, intensity and magnitude.

© 2011 Elsevier Ltd and INQUA. All rights reserved.

1. Introduction

The world is in desperate need of seismic hazard assessments for the near future as well as the very far distance when it concerns nuclear waste handling. This calls for long-term records of past and present earthquake events as illustrated in Fig. 1. Only by combining seismological records with historical data and events traced by paleoseismology are we able to achieve a meaningful hazard assessment, however. It should be noted that past traces left in the geological records imply a minimum magnitude of the causation event of 5.5–6.0 on the Richter scale. The real magnitude or intensity above this threshold value is often hard to estimate, using the height and length of faults, the lateral distribution of related faults and bedrock fractures, the spatial distribution of liquefaction events, the size and type of liquefaction structures, the height and

distance of tsunami waves, the distribution of slides, etc. Additional criteria are the spatial distribution of turbidites, the occurrence of methane venting tectonics, and the spatial distribution of affected magnetic grains in sediments (deformation as well as free rotation due to liquefaction).

The application of multiple criteria usually strengthens the case and improves the interpretation (e.g. dePolo et al., 1991; Atwater and Moore, 1992; Bucknam et al., 1992; Jacoby et al., 1992; Karlin and Abella, 1992; Schuster et al., 1992). Dating usually remains a prime obstacle for a successful combination of different parameters. In Sweden, however, the varve chronology has offered unique possibilities of dating different signals as to a single year. Thanks to this it was possible to document the spatial distribution of different signals (e.g. liquefaction, tsunami, turbidites, magnetic grain adjustments), with a firm integration of various types of earthquake effects. This

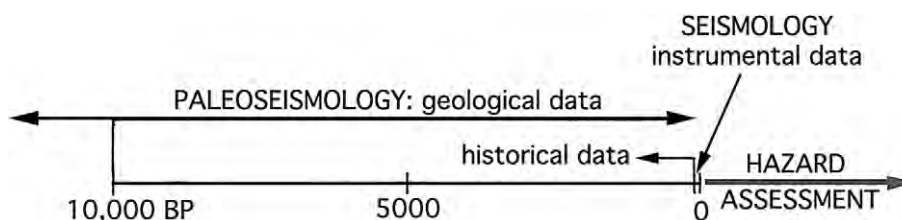


Fig. 1. Present seismic activity is recorded by seismic instruments. Past seismic activity is recorded by historical information and primarily by geological records (paleoseismics). For meaningful future seismic hazard assessment, the seismic records must be combined with paleoseismic analyses.

E-mail address: morner@pog.nu.

provides a method of recording and separating multiple events, and establishing the recurrence time (Mörner, 2003, p. 310).

In this paper, I will present four case studies from Sweden on the methodology of multiple parameter application in the study of paleoseismic events, and then give some additional notes on the different parameters applied. The main message is the expression of all data in comprehensive tables (Tables 1–4) where the documentation is synthesised in an explicit way, and where the intensity and magnitude can be assessed (Tables 5 and 6).

2. Geological setting

Geologically speaking, Fennoscandia is an old craton between the North East Atlantic plate to the W–NW, the Russian platform to the E–SE and the Danish–Polish trough to the S. The long-term stress direction is in the NW–SE direction (Mörner, 1991). The glacial isostatic movements during the Quaternary constitute short-term large-scale crustal motion superimposed on the long-term trend. The uplift after the LGM ice cover has the shape of an ellipsoid with a maximum uplift of 800 m in the centre (Mörner, 1979, 2003). This uplift cone gives extensional forces in the radial, tangential and vertical planes. The corresponding horizontal strain rates were in the order of 10^{-24} s^{-1} with the vertical rates of uplift of $\sim 15\text{--}40 \text{ cm y}^{-1}$ or $0.4\text{--}1.1 \text{ mm day}^{-1}$ (Mörner, 1991, 2003, p.183).

In the 1950s, it was generally held that the Fennoscandian Shield had a remarkably high stability. In the 1960s, this assumed stability began to become questions due to new observational facts achieved from modern sea level studies and repeated levelling (Mörner, 1979). In Finland, Kujansuu (1964) found evidence of postglacial faults. Faults of lengths of several 10s of km and heights of 10–20 m were recorded in northern Fennoscandia; e.g. the Pärve, Lansjärv and Stuuragurra Faults (Lundqvist and Lagerbäck, 1976; Lagerbäck, 1990; Dehls et al., 2000). Southern Sweden had been affected by multiple paleoseismic events (Mörner, 1979, 1985, 1996, 2003). Postglacial faulting was described from southern Finland and Karelia (Kuivamäki et al., 1998; Kotilainen and Hutri, 2004; Mörner, 2010; Lukasov, 1995; Nikonov and Zikov, 1996).

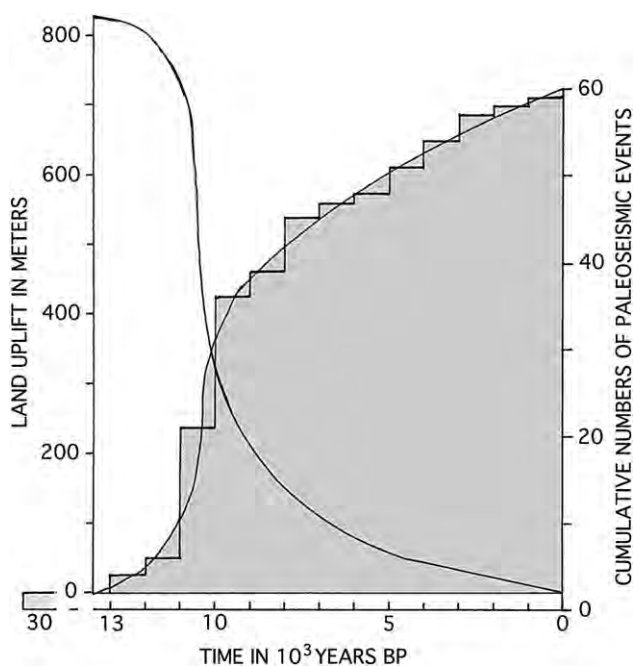


Fig. 2. Cumulative distribution over time of the 59 events in the Swedish Paleoseismological Catalogue (Mörner, 2003). There is a distinct peak in the period 11,000–9000 BP, which is the time of the peak rate of glacial isostatic uplift (left curve).

With a transitional period in the 1970s and 1980s, a paradigm shift occurred. The concept of stability is now changed to the concept of a very high magnitude and frequency of paleoseismic activity during the deglacial phase of exceptionally high rate of uplift (Mörner, 1991, 2003, 2004). Even in the Late Holocene, however, there were several events, some of which reached M 7 (Mörner, 2009a).

To date, 59 separate paleoseismic events have been identified, dated and described in Sweden (Mörner, 2003, 2009a). Their cumulative time distribution shows a strong relation to the changing rate of uplift (Fig. 2) and causal connection seems obvious (Mörner, 2003, p. 309). Most of those events generated liquefaction structures, and 17 generated tsunami events. All events are recorded by multiple criteria: primary faults, bedrock fracturing, sediment deformation, liquefaction, slides, tsunami events and turbidites (Mörner et al., 2000; Mörner, 1996, 2003, 2004, 2005, 2008a, 2009a, 2009b; Mörner and Sun, 2008; Mörner and Dawson, 2011).

3. Integration of multiple parameters

The first integrated approach refers to the 9663 vBP event (Mörner et al., 2000). This study later grew to a major monograph (Mörner, 2003). The findings and technique applied were presented at international excursions in 1999 and 2008 (Mörner, 2008a).

In this paper, I will highlight a few case studies where the integration of multiple factors is presented for two late-glacial events (viz. those occurring 10,430 and 9663 vBP; with “vBP” referring to varve years BP) and two Late Holocene events (viz. those occurring 4800 and 3000 BP). The geographic location is given in Fig. 3.

3.1. 10,430 vBP paleoseismic event

Stockholm is traversed by an old Permian fault that extends in east–west direction for about 400 km and may continue into the Bay of Finland and the Ladoga area for another 300–400 km (Fig. 3; Mörner, 2004). This fault was reactivated in deglacial time some 10,500–10,400 vBP. Thanks to the Swedish varve chronology, 6–7 independent earthquake events were recorded and dated within the time span of only 102 years or varve 10,490 to 10,388 vBP (Mörner, 2003, 2008a), indicating segmentation along the fault (Fig. 10). The displacement has not been possible to determine because of vegetation and sediment cover. A lateral or sympathetic fault located 1 km north of the main fault is displaced by up to 8 m, however (Fig. 4A). Bedrock fracturing is recorded over a wide area and so are the records of liquefaction. The magnitude must have been very high; probably above 8. A major tsunami wave opened the strait to the Atlantic and the entire Baltic turned brackish in 1 year; varve 10,430 vBP. The multiple factors by which this event is recorded are summarized in Table 1.

3.2. 9663 vBP paleoseismic event

The Hudiksvall area was struck by a violent earthquake in the year 9663 vBP. This is recorded by multiple means (Mörner et al., 2000; Mörner, 2003) as illustrated in Table 2. The epicentre was located at a major thrust fault zone to the east (Fig. 3). The up-thrusted surface is up to 20 m high. The slip is not determined but ought to be in the order of 50 m, suggesting repeated events along the same fault (a total of 8 separate events are recorded in the area; Mörner, 2003). The bedrock is strongly fractured over a very wide area of, at least, 50 km from the epicentre. The heavy bedrock deformation at the Boda Cave, located 12.5 km from the epicentre, seems to be a combination of seismotectonics and methane venting tectonics (Fig. 4B). Liquefaction in 5 separate phases is recorded over 80 km. A strong tsunami event occurred. A turbidite was

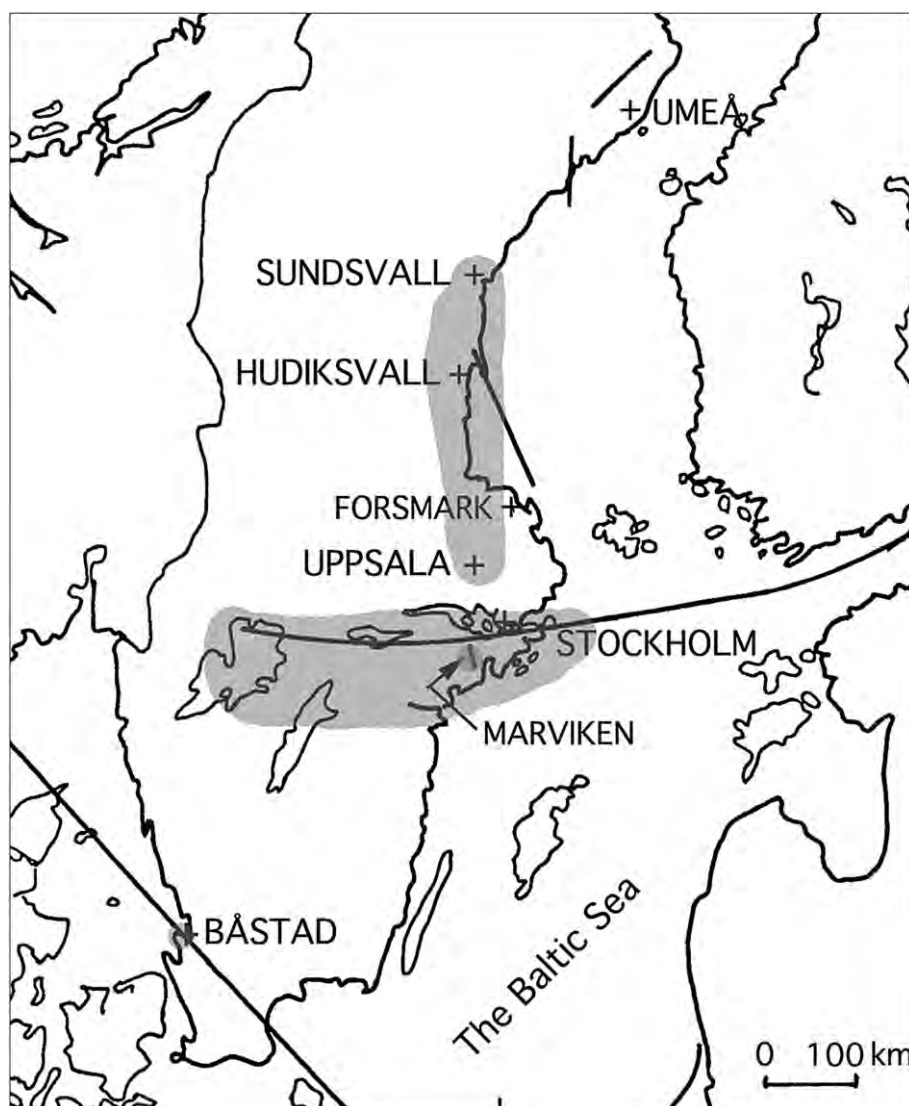


Fig. 3. Geographic location of the faults (thick lines) associated to the four events discussed, the spatial extension of ground effects (shaded) and names mentioned in the text.

spread along the seabed from Sundsvall to Uppsala, an area of 320 km. This must have been a very strong event with a magnitude in the order of 8 or even above 8 (Mörner, 2003).

3.3. 4800 BP paleoseismic event

After the sea level transgression termed PTM-5A at 5000 ^{14}C BP, there was an earthquake event along the fault bounding Mt. Hallandsåsen and continuing out across the Kattegatt Sea (Fig. 3; Mörner, 1969). This fault has been active in late-glacial and Holocene time. The primary fault movement is unknown. A lateral to sympathetic fault, located 6 km from the main fault, moved by 1.1–1.4 m dislocating older Holocene shorelines (as illustrated in Mörner, 2003, p. 273, 2009a, Fig. 4). The PTM-5 shore scarp exhibits extensive bedrock fracturing and shaking. Momentary talus shuttering is recorded along the shore cliffs. Major earth slides are seen along the fault slope of Mt. Hallandsåsen. One of those continues into a river section where it is seen to post-date the 5000 BP marine beds. A strong liquefaction event is recorded in the marine beds and up to the slide layer. The intensity was estimated at X (Mörner, 2009a) and the magnitude at around 7 (Mörner, 2003). The database is illustrated in Table 3.

3.4. 3000 BP paleoseismic event

A primary normal fault is seen for, at least, 4 km. The throw is 1–2 m. All deformation is concentrated to the western side of the fault. Some bedrock hills are very strongly fractured. Nine individual slides are recorded. Dewatering with valley erosion and alluvial cone deposition is recorded. Some slides went into Lake Marviken and set up a local lake tsunami. The intensity was estimated at X (Mörner, 2009a) and the magnitude at around 7 (Mörner, 2003). The multiple parameters used are illustrated in Table 4.

Place name analyses refer to this event. The region in question is crossed by a lake system known as “Lake Marviken”. The word “marviken” has a likely origin from the ancient Swedish word “mardher”, referring to “crushed” and “fractured”, which fits perfectly well with the character of the faulted western slope of Lake Marviken (Fig. 4C; Mörner and Strandberg, 2009).

4. Notes on bedrock fracturing

Whilst geologists usually are well aware of the fact that bedrock fracturing and lateral or sympathetic faulting may occur over a large area around the primary faults (e.g. Serva, 1995; Mörner,

Table 1

Integration of different factors in the study and documentation of the 10,430 vBP paleoseismic event, which is likely to have been a very strong event in the order of $M > 8$ (Table 5; cf. Mörner, 2003, 2008a).

THE 10,430 vBP PALEOSEISMIC EVENT
PRIMARY NORMAL FAULT

Reactivation of old East-West Fault
Segmentation with 7 events in 102 years
Total fault length 400–700 km, vertical throw unknown

LATERAL-SYMPATHETIC FAULT

At 45° angle and 1 km north of the main fault, there is a fault of 8 m throw and 1 km length

HEAVY BEDROCK FRACTURING

A: numerous sites over an area of 50×100 km
B: a “paleo-seismograph” indicating epicentre

EARTH SLIDES

A: slides recorded at some sites
B: dated at the autumn of varve 10,430 vBP

SHAKING

A: shaking of sand, silt and clay bands recorded
B: shaking of fine particles recorded by magnetic means
C: it is dated at the autumn of varve 10,430 vBP

HEAVY LIQUEFACTION

A: recorded at several sites over an area of 320×100 km
B: multiple phases recorded at some sites
C: liquefaction event dated at the autumn of 10,430 vBP

STRONG TSUNAMI EVENT

A: recorded at several sites over 300×400 km
B: wave height of 15–20 m with opening of the Narke Straight allowing marine water to enter the Baltic (the Yoldia Stage)
C: the tsunami event is dated at the autumn of 10,430 vBP

EXTENSIVE TURBIDITE

A: recorded at numerous varved clay sites
B: extending over an area of 200×320 km
C: dated exactly to varve 10,430 vBP

MAGNETIC GRAIN ROTATION

A: “seismomagnetization” over 500×600 km
B: 90° polarity rotation over 18 varves

2003), nuclear power organizations seem to prefer to neglect such facts and to claim little or no deformation away from a fault. Bäckholm and Munier (2002) claim that an M 8.2 earthquake can only displace the bedrock by 7 cm 1 km from the fault, which the Swedish nuclear industry uses as base for their claim that nuclear waste canisters can be stored (safely for 100,000 years) as close as 50–100 m from a regional fracture zone.

In the case of the 10,430 vBP event, an 8 m fault displacement is recorded at a distance of 1 km from the main fault (Fig. 4A), and fractured bedrock was documented in a wide zone of 50 × 100 km south of the fault. For the 9663 vBP event the bedrock fracturing extends over a zone of 50 × 50 km. The heavily deformed Boda Cave site is located 12.5 km from the epicentre (Fig. 4B). In the 4800 BP event a sympathetic fault moved 1.1–1.4 m. It is located 6 km from the main fault. Even at the 3000 BP event, some previously glacially polished roche moutonnee hills were heavily fractured into pieces (Fig. 4C).

Table 2

Integration of different factors in the study and documentation of the 9663 vBP paleoseismic event, which is likely to have been a very strong event in the order of $M \sim 8$, or maybe even $M > 8$ (Table 6; cf. Mörner et al., 2000; Mörner, 2003, 2008a). This event is probably one of the best documented paleoearthquakes there is.

THE 9663 vBP PALEOSEISMIC EVENT
PRIMARY THRUST FAULT

~20 m thrust, ~20° angle, ~50 m slip
Fault length 20–150 km

HEAVY BEDROCK FRACTURING

A: some 100 sites (49 investigated in details) over a distance of 50 km from the epicentre
B: extensive rock avalanches at some sites

EARTH SLIDES (hard to detect because of vegetation and sediment cover)

3–4 slides recorded at the Boda Cave and dated at 9663 vBP

HEAVY LIQUEFACTION

A: recorded at 13 sites over an area of 80×40 km
B: 5 separate phases recorded at 2 independent sites
C: liquefaction event dated at 9663 vBP

STRONG TSUNAMI EVENT

A: recorded at 13 sites over 80×25 km
B: wave height at least 12.5 m
C: tsunami event dated at 9663 vBP

EXTENSIVE TURBIDITE

A: recorded at 25 varved clay sites in the near field and several additional in the far field
B: extending for 320 km in N-S direction
C: dated exactly at varve 9663 vBP

METHANE VENTING

A: recorded in the varved clay (the “spotted zone”)
B: the “spots” end sharply with varve 9663 vBP (i.e. the seabed at the time of the event)
C: magnetic venting tectonics

These observational facts are in total opposition to the claims of Bäckholm and Munier (2002) and Munier and Hökmark (2004). This has, of course, severe practical implications with respect to long-term nuclear waste handling (e.g. Mörner, 2001) where the Swedish–Finnish concept of a closed repository at 500 m depth in the bedrock calls for a long-term stability of “at least 100,000 years (in Sweden) and “up to 1 million years” (in Finland). Seismic hazard assessment (Fig. 1) has, by that, been forced into predictions that we are really not capable of giving (i.e. “in absurdum”; Mörner, 2001).

5. Liquefaction

In 1995, sections along a new road exposed excellent examples of various types of liquefaction structures; a major venting structure, shaken beds and deformed varved clay (Mörner, 1996). The deformation could be tied to the autumn of varve 10,430 vBP. This initiated intensive studies of liquefactions at a large number of sites from Båstad in the south to Umeå in the north of Sweden (Tröften, 1997; Mörner, 2003, 2005, 2008a, 2009a, 2009b).

At the site of Olivelund, located 30 km SSW of Stockholm, a large variety of different liquefaction structures occur (Mörner, 2003). They were investigated in great details by myself and Franck

Table 3

Integration of different factors in the study and documentation of the 4800 BP paleoseismic event, which is likely to have been in the order of intensity X and magnitude $M \sim 7$ (Mörner, 2003, 2009a).

THE 4800 BP PALEOSEISMIC EVENT PRIMARY NORMAL FAULT
Reactivation of Hallandsåsen Horst Fault (with 13 events recorded in the last 13,000 years) vertical throw unknown, fault length >100 km
LATERAL-SYMPATHETIC FAULT
The Råle Fault 6 km SW of the main fault (moving 4800, 3500 and 900 BP) Vertical throw: 1.1–1.4 m
BEDROCK FRACTURING
A: some sites along the main fault B: dated to post-date 5000 BP shoreline
TALUS SHUTTERING
A: at several sites along the fault (recorded for 2 km) B: shuttering talus on top of the 5000 BP shoreline
EARTH SLIDES
A: major earth slides along the fault slope B: with sediment wedges on top of 5000 BP shore deposits
LIQUEFACTION
A: recorded along the River Stensan banks B: sea level dating at 4800 BP

Audemard. This site will be proposed as a type-site for seismotectonically induced liquefaction structures in Fennoscandia.

The liquefied beds are often recorded as structureless layers with lateral flow and venting upwards when possible (Mörner, 2003, 2005, 2009b). The flaming upwards of fine material and the sinking down of heavier material is another characteristic feature. Often, a liquefied layer behaves like a “heavy fluid” with stones and blocks “swimming” in the liquefied beds (Fig. 5A). The seismic wave seems sometimes fossilized (frozen) in the wavy mega-patterns of liquefaction (Fig. 5B).

At the 9663 vBP event in the Hudiksvall area, numerous sites of liquefaction were recorded. In two sites (Hög and Västra Mura), located 35 km apart, five successive phases of liquefactions were documented (Fig. 6). They record the main shock and aftershocks (or a clustering of events as recorded by Guerrieri et al., 2009, for the L'Aquila 2009 event). This produces a more realistic record of earthquake behaviour despite the fact that the event took place some 10,000 years ago. This is also relevant for the estimate of the causation magnitude, because the aftershocks usually have magnitudes 1 grade lower. Two events (occurring 10,388 vBP and 6100 BP) show the venting of coarse gravel, which implies a very high magnitude (Mörner, 2003, 2008a, 2009b).

6. Tsunami

Almost all of the 59 paleoseismic events recorded in Sweden occurred below sea level or the Baltic level (Mörner, 2003). Therefore, it is not surprising that tsunami waves occurred in association to the seismic events. The water depth was about 180 m higher than today in the Stockholm area at the time of the 10,430

Table 4

Integration of different factors in the study and documentation of the 3000 BP paleoseismic event, which is likely to have been in the order of intensity X and magnitude $M \sim 7$ (Mörner, 2003, 2009a).

THE 3000 BP PALEOSEISMIC EVENT PRIMARY NORMAL FAULT
Through 1–2 m Fault length at least 4 km
BEDROCK FRACTURING
A: bedrock fracturing along the western side including individual small bedrock hills B: rock avalanches at a few sites both as slides and individual huge blocks
EARTH SLIDES
A: nine slides recorded along the western fault side B: dated at around 3000 BP (>2900 BP) C: a Bronze Age mound has collapsed and slid
LIQUEFACTION
A: a sudden dewatering is recorded in a valley beginning as a bird-foot and ending in an alluvial cone B: dated at <3500 and >2900 BP
LOCAL LAKE TSUNAMI
A: local lake-tsunami recorded over 5.2 km B: set up by the earth slides into the lake C: tsunami event dated at around 3000 BP
LAKE TURBIDITE
A: recorded in 12 cores for 5.2 km B: dated at about 3000 BP
PLACE NAME
Lake Marviken seems to back to “mardher” referring to “crushed” and “fractured” which was precisely the case after the event

vBP event, and about 230 higher m in the Hudiksvall area at the 9663 vBP event.

In 1995, the first record was made of the tsunami occurring in the autumn of the varve year 10,430 vBP (Mörner, 1996, 2003). In 1997, evidence of a second tsunami event was found from the 9663 vBP event in Hudiksvall (Mörner et al., 2000; Mörner, 2003, 1999). At present, the paleoseismic catalogue (Mörner, 2003, 2005) includes 17 separate tsunami events (Mörner, 2008b; Mörner and Dawson, 2011).

The 10,430 vBP tsunami set up a wave that washed the Närke Strait (the connection between the Baltic and the Atlantic) free of pack-ice and ice-bergs so that marine water could suddenly invade the Baltic basin, turning it into a brackish environment. This was the onset of the Yoldia Sea stage *sensu stricto* (Mörner, 1995). This is well recorded by a graded tsunami sand-bed, which is followed by marine Yoldia clay in sites widely separated (Mörner, 2003). The tsunami is recorded in 9 sites spread over an area of 400 km. It may have consisted of a train of 3–5 waves, judging from some turbidite beds (cf. below).

The 9663 vBP tsunami is very well recorded in lake cores (43 cores in 9 lakes) and sections (4 sites) extending over an area of 80×40 km, as discussed in Mörner (2003). The event is sharply dated at one single varve (9663 vBP). I will here limit the discussion to one site; lake Källsjön, which is located above the highest coastline (or Baltic Limit, BL) and hence had had no open

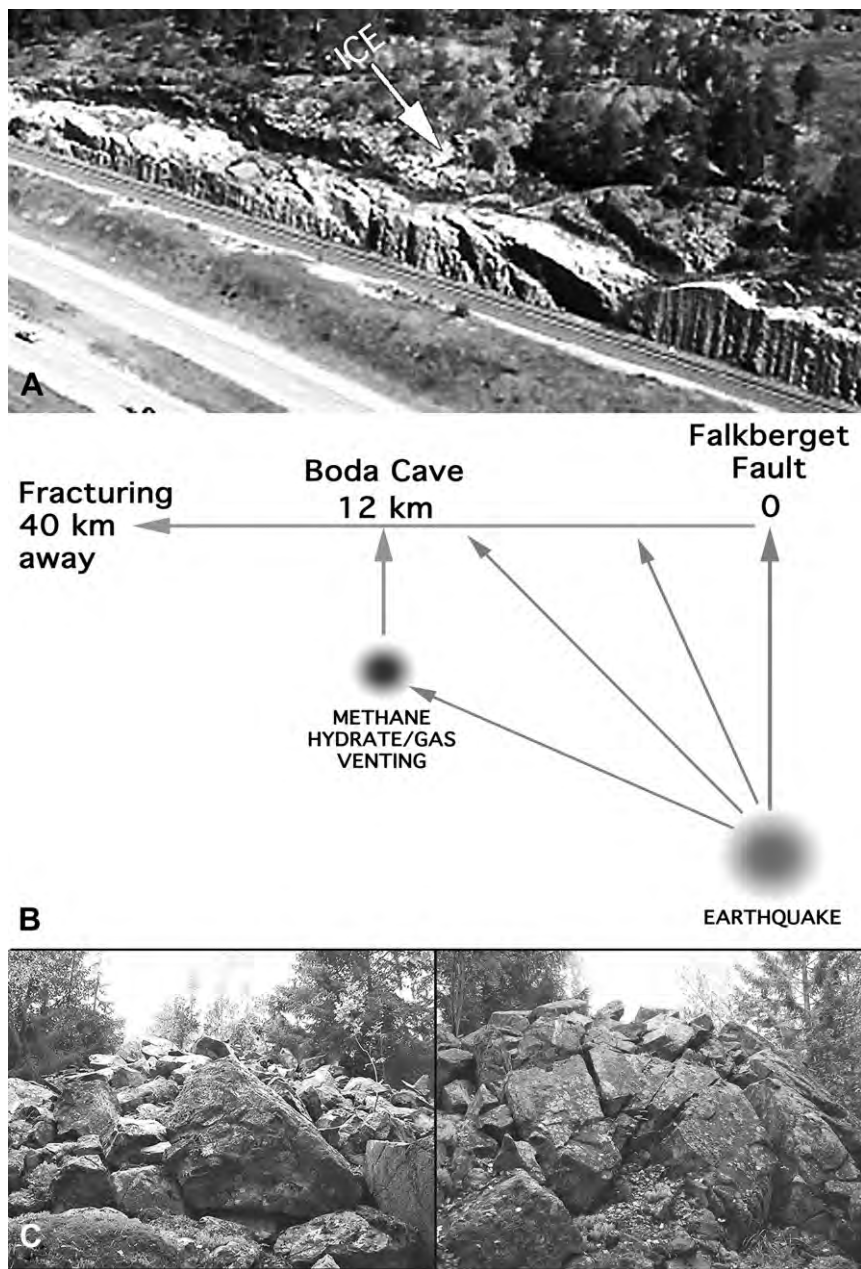


Fig. 4. Bedrock fracturing and faulting away from the primary fault. **A:** an 6–8 m fault lying 1 km north of the main fault of the 10,430 vBP event. **B:** possible interaction of seismic wave propagation and methane ice/gas transformation with methane venting tectonics in addition to the seismotectonic fracturing (recorded, at least, up to 40 km away from the epicentre) at the 9663 vBP event. **C:** an old roche moutonnée surface fractured up in angular pieces by the 3000 BP event (left: view from the east, right: view from the west).

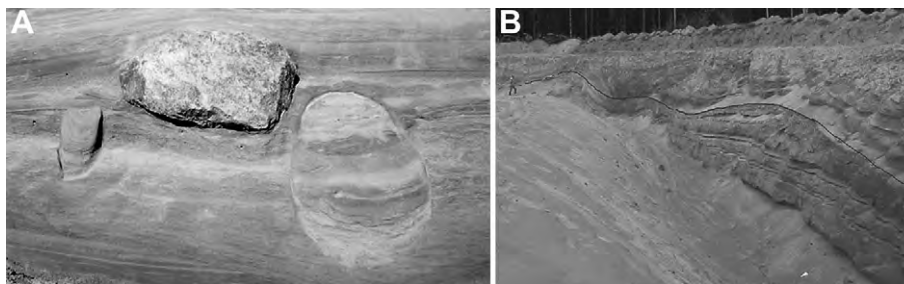


Fig. 5. *Left (A):* Liquefied sand behaving like a “heavy fluid”, in which blocks may “swim” *Right (B):* The liquefied beds exhibit a “mega-wave” pattern that seems to represent the fossilized seismic ground wave. Both pictures are from the Olivlund site (Mörner, 2003).

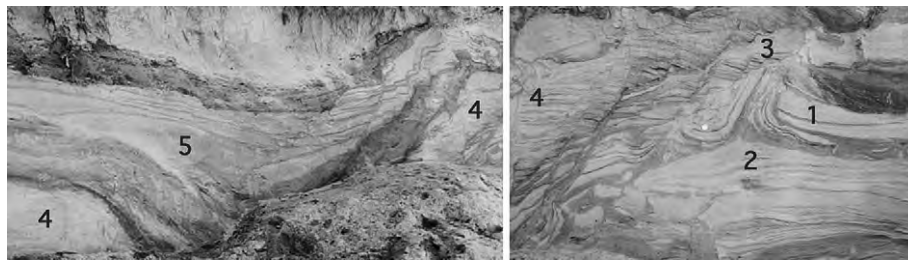


Fig. 6. Five successive phases (1–5) of liquefaction of the 9663 vBP paleoseismic event, interpreted to represent shocks and after-shocks of the same earthquake event (site: Myra West). Five successive phases were also recorded at a site (Hög) located 35 km away. Both sites are described in details in Mörner (2003).

connection with the Baltic. Lake Källsjön has a present level of +232 m but a former damming sill seems to have had an elevation of about +236 m (indicating some down-cutting of the outlet brook). The highest coastline is determined at +231.3 m (BL) and the shoreline at the tsunami event at +223.5 m (TL). The situation is illustrated in Fig. 7. The lakebed was cored at 3 sites (5 cores), and a graded tsunami sand-bed was recorded in all cores. The fining-upward bedding is consistent with a tsunami wave ingress. The evidence of this comes from the microfossil content of the sand-bed, which records a planktonic diatom flora of the Baltic Lake Ancyclus stage (Mörner, 2003; Mörner and Dawson, 2011). This implies that the tsunami wave must have crossed a 700 m long land area at a height of 12.5 m above the tsunami shore level. In this lake (contrary to other lakes in the area), there still occurs a small fish *Osmerus eperlanus* (smelt), which is likely to be a relict from the Ancyclus Lake, and, if so, it can only have arrived into this lake basin via the tsunami event of 9663 vBP. The tsunami may even be recorded in sites some 300 km to the south (Mörner, 2003).

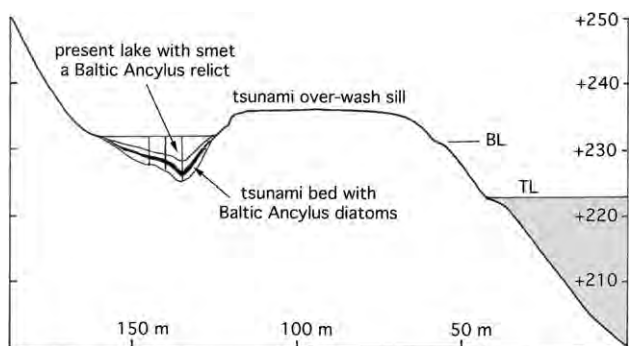


Fig. 7. The situation at Lake Källsjön (+232 m). This lake was located above the highest Baltic level (BL at +131.3 m). The sill in-between had an original level of about +236 m. At the time of the 9663 vBP tsunami, the Baltic level was at +223.5 m (TL). In the lake bed, there is a sandy tsunami bed (in fining-upward sequence) that contains a Baltic Ancyclus Lake diatom flora. In order to enter the lake basin, the tsunami wave must have been more than 12.5 m high and to have over-washed a sill at +236 m for about 700 m. Therefore, the tsunami wave is likely to have been, at least, 15 m high. In today's lake, a small fish, smelt, is living, which is likely to be a relict from the Ancyclus Lake water washed into the lake by the tsunami.

7. Turbidites

In the varve chronological work, there sometimes occur single varves that stick out as odd with respect to thickness or composition. They were termed “drainage varves” and interpreted in terms of catastrophic drainages of ice-dammed lakes (De Geer, 1940; Bergström, 1968; Strömberg, 1989). When there are no glacial lakes to drain and when the odd varves extend over several independent drainage basins, a different interpretation must be advocated, however (Mörner et al., 2000; Mörner, 2003; Mörner and Dawson, 2011).

The classical “drainage varve” of De Geer (1940) marking the ingress of marine water into the Baltic and the onset of the Yoldia Sea stage at varve 10,430 vBP was the first to become reinterpreted in terms of a seismically induced turbidite (Mörner, 1980). Originally, this varve was correlated with the “drainage of the Baltic Ice Lake” (De Geer, 1940). However, there is about 310 years between the two events (Brunnberg, 1995). Therefore, the sudden switch from lacustrine to brackish environment within one single varve year (10,430 vBP) remained unexplained until it was shown to have a paleoseismic origin (Mörner, 1995, 1996, 2003). The varve 10,430 vBP is a true “marker varve” (Fig. 8). This turbidite has been recorded over an area of 200 × 320 km (Mörner, 2003). The character and distribution of the turbidite were also affected and driven by the simultaneous tsunami event (Mörner and Dawson, 2011, Fig. 6). It may, therefore, be significant that this turbidite, at a few sites in the Stockholm region, is split up in multiple finding-upward beds that might represent a train of tsunami waves.

The turbidite of the 9663 vBP paleoseismic event (Table 2) was interpreted as a drainage varve (Strömberg, 1989) despite the fact that there were no glacial lakes to drain in the vicinity and that it extended over several drainage basins. Coring of the varves indicated that it was a typical turbidite (Fig. 9). Coincidental (i.e. dated independently as to the same varve) to this turbidite, were an extensive liquefaction event and a strong tsunami event, besides correlative earth slides and bedrock deformations (Mörner et al., 2000; Mörner, 2003). Therefore, the seismic origin (in combination with the tsunami wave action) was obvious. The “marker-varve” turbidite can be followed from Sundsvall in the north to Uppsala in the south, for 320 km (Fig. 3). It cuts across 8 individual drainage basins.

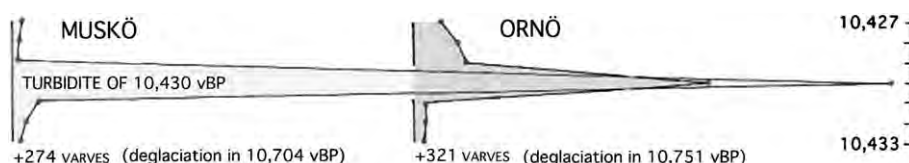


Fig. 8. The turbidite of the 10,430 vBP event; After 274 and 321 normal varves, respectively, there is a very thick layer in the same varve in both sites located 20 km apart; viz. thick sandy-silty layers with incorporated pieces of contorted clay and clay pebbles, i.e. evidence of a massive turbidite flow. This turbidite (marker varve) is found over a wide area of 200 × 320 km.

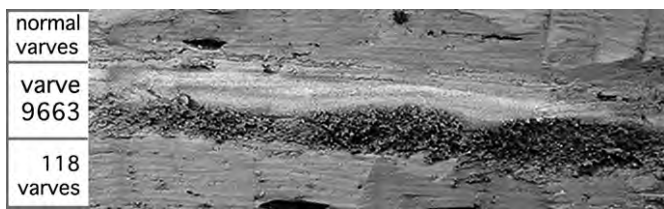


Fig. 9. The turbidite of the 9663 vBP event; a finding-upward sandy silty bed that breaks the varve sequence. This turbidite was cored and dated to the same varve at 25 sites in the near-field, and it extends for over 320 km along the coast from Sundsvall to Uppsala.

The 9428 vBP paleoseismic event in the Umeå area set up a turbidite, also. This layer is recorded in 14 cores and sites over an area of 60×30 km (Mörner, 2003, 2008a). Originally, it was interpreted as a possible drainage varve (Bergström, 1968), but now it seems quite clear that it is a major seismite turbidite. Even the famous “zero-varve” in De Geer’s chronology (now dated at 9239 vBP) marking the “drainage of the Central Jämtland ice-lake” is likely to record a paleoseismic event (Mörner, 1985, 2003) and not catastrophic ice-lake drainage.

8. Dating

Dating is always a prime task in paleoseismic analysis. Thanks to the Swedish varve chronology, most of the late-glacial paleoseismic events were dated by varves as to a single year (Mörner, 2003).

De Geer was the first (in 1884) to realise that the varves in the glacial clay in Sweden represented an annual rhythmicity. The building up of a chronology started in 1904 (De Geer, 1940) and many additions and revisions have followed since then. It consists of a postglacial part utilizing the rhythm in the river sediments and a glacial part utilizing the rhythm forced by the melting of the receding ice margin. In numerical terms, there still remains an error in the order of 500 years (e.g. Mörner, 2003, p. 179) between the varve ages (vBP) and the calibrated ^{14}C ages (cal-BP). In relative terms, however, the chronology offers an annual resolution. This is especially true for the 10,430 and 9663 vBP events, which left easily identified marker beds in the varve records. The same applies for the varve records close to the events (e.g. Fig. 10). In the case of the 9663 vBP event, it is, of course, quite unique that not only the

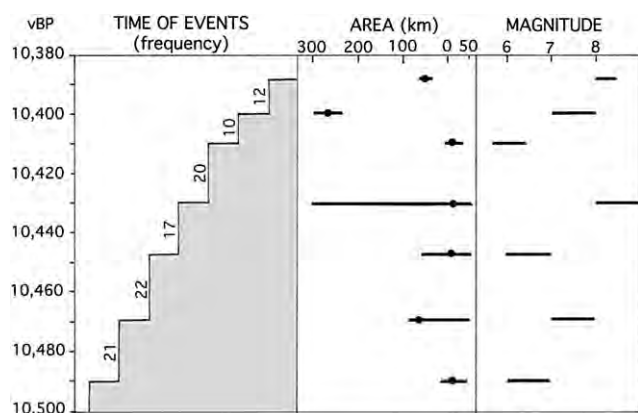


Fig. 10. During the 102 years between varve 10,490 and 10,388 vBP, seven (7) events are recorded along the E-W-fault along the southern side of Lake Mälaren and passing through Stockholm (0 in the area column). The time between the events (~ 20 years) is given in vertical in the first column. The second column gives the area over which the events are recorded, with dots marking the likely epicentre (indicative of some segmentation). The right column gives the estimated magnitudes (which are relative).

turbidite but also the liquefaction event, the tsunami event and even the Boda cave fracturing are tied to the varve chronology (Mörner et al., 2000; Mörner, 2003, 2008a).

8.1. Annularity and frequency

In the Stockholm area, I have worked intensively with the interaction between the subglacial dewatering along eskers, bedrock deformations, and signals in the varve records (Mörner et al., 1989; Mörner and Tröften, 1993; Tröften, 1997; Tröften and Mörner, 1997; Mörner, 2003). Dating fixed to single varves obtains the frequency of seismic events during the time of deglaciation and varve deposition. The varve sequence 10,490 to 10,388 vBP (102 years) records 7 events (Mörner, 2003, 2008a), as shown in Fig. 10. This implies a very high seismic frequency at around the time of deglaciation.

8.2. Seasonality

In one case, it was possible to determine the season of the event; the 10,430 vBP event occurred in the autumn. This was recorded at two sites 70 km apart; the Turinge road section and the Lake Albysjön cores (Mörner, 2003). A third site was recorded in 2008. The situation is shown in Fig. 11.

The 9428 vBP event at Umeå seems to have occurred in the spring (Mörner, 2003). This is only recorded in one section, however, and therefore is preliminary.

8.3. Recurrence

Today, there is a paleoseismic catalogue of 59 events (Fig. 2). In some areas, the postglacial recurrence can be determined (Mörner, 2003, 2008a, 2009a). On the Swedish West Coast, 13 events are recorded since 13,000 ^{14}C BP, forming a fairly linear trend. This is probably due to an active major fault zone crossing the area (Fig. 3; Mörner, 2004). In the Lake Mälaren region, there are 14 events in about 10,500 varve years with a very high frequency (Fig. 10) in the first centuries. In northern Uppland (the vicinity of the Forsmark nuclear power plant and the proposed future storage of high-level nuclear waste), 5 separate events are documented in 10,150 varve years with the last event occurring 2900 BP (Mörner, 2009a). In the Hudiksvall area, 7 events occurred since 9800 vBP with the last one occurring 2000 BP. In the Umeå region, Mörner (2008a) recorded 5 separate events. Separating different events records the spatial distribution of liquefaction (which tells us something about magnitudes and intensities), turbidites, and magnetic grain reorganization.

9. Methane venting tectonics

Methane (CH_4) can occur in the form of gas or hydrate (ice or clathrate). The transition between the two forms is a phase boundary controlled by temperature and pressure (Fig. 12). The volumetric difference of the ice-to-gas phases is 1:168 (under “room” temperature and pressure). This means that a sudden transition has a direct explosive power, creating “methane venting tectonics” (Mörner, 2003).

Methane seepage is a common factor in the Fennoscandian bedrock, especially from major fault-lines and fracture zones. Whether this gas is primordial or biogenic is another question. Large parts of the Fennoscandian Shield are composed of 2 Ga old rocks that are full of stromatolites that may be the source of methane.

Björklund (1990) was the first to propose that methane ice/gas-transformation might be the origin of some of the surface deformations observed. For a long time, it was not possible to identify

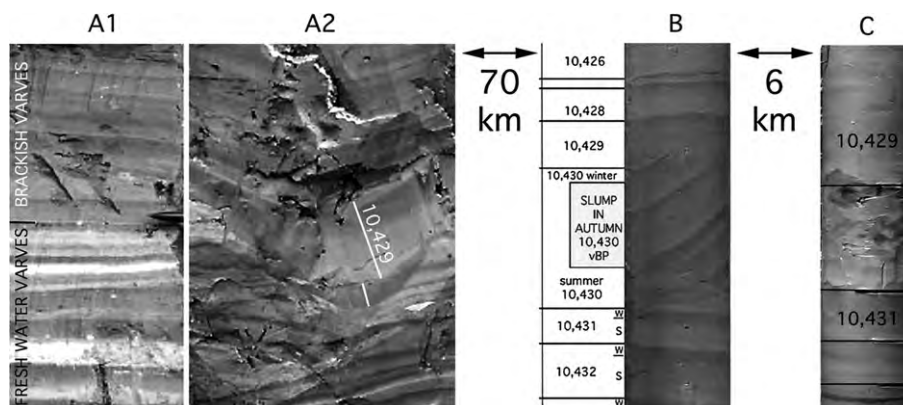


Fig. 11. Annual and seasonal recording of the 10430 vBP event at three sites; Turinge (A), Lake Albsjön (B) and Lake Damsjön (C), spanning a distance of 76 km. A1 record the sudden switch from freshwater to brackish environment in varve 10,430. A2 records the shaking deformation and erosion with calm conditions restored in the winter of varve 10,430, indicating that the event took place in the autumn. B records a slump that entered in the autumn sequence into varve 10,430. C was first thought not to record the event, but when cleaned recorded strongly irregular (shaken) structures in the autumn part (the summer and winter units remaining homogenous).

any such process, however (Mörner, 1993; Sjöberg, 1994). Studies of the 9663 vBP paleoseismic event (Table 2) provided evidence of methane venting and methane venting tectonics as a function of this earthquake event (Mörner, 2003).

In the varve chronology of Sweden (De Geer, 1940), it had been observed that there, over a wide area in the County of Uppland, occurred a “spotted zone” (Gustafsson, 1905; Järnefors, 1956). Strömberg (1989) showed that the zone had a sharp upper boundary in varve 9663 vBP. This opened the possibility of a connection with the 9663 vBP earthquake. Also, carbonate concretions had been reported from submarine pockmarks. Samples from the “spots” were investigated. They were precipitates and their stable isotope values had a typical late-glacial composition (Mörner, 2003). Instead of being ice-rafted grits, the spots were products of degassing from beneath and precipitation in the clay up to the very surface of the seabed at the time of degassing; i.e. varve 9663 vBP. This fits well with the observations and analyses of carbonate concretions formed by methane degassing in association

with submarine pockmarks (e.g. Hovdal and Judd, 1988; Ondrea et al., 2005; Haas et al., 2010.).

The remarkable Boda Cave deformation (Sjöberg, 1994; Mörner, 2003, 2008a) records violent extensional tectonics with 6–12 local centres of deformations, which we interpreted as signs of probable methane venting. The site is located 12.5 km from the epicentre. It seems hard to interpret such a huge deformation at such a far distance solely by the seismic shaking; instead a combination of earthquake shaking, triggering methane phase transition from methane ice stored in bedrock voids to venting methane gas, and hence additional methane tectonics as illustrated in Fig. 4B are proposed.

There are also some heaps of blocks (site Skälboberget in Mörner, 2003) that seem to have been formed by massive degassing tectonics. The Skälboberget event set up a 20 m high tsunami and is dated at 2000 BP. Sjöberg (2009) discussed three additional bedrock caves that might have their origin in methane venting tectonics.

10. Magnetic grains rotation

At earthquake ground shaking, the magnetic grains may get a second chance to rotate and align with respect to the Earth's geomagnetic field. When this happens, the total intensity of magnetization increases (i.e. more grains in sharper alignment). This was first observed in a number of sediment cores spanning the Pleistocene/Holocene boundary (Mörner, 1976) and was termed “seismomagnetization” (Mörner, 1997; Mörner and Sun, 2008).

At the paleoseismic event in the autumn of varve 10,430 vBP (Table 1), such increased magnetic intensity is recorded in some 20 sites over an area of 500 × 600 km. There ought to be some sort of linear relationship between the spatial distribution of seismomagnetization and the triggering seismic magnitudes or intensities. The enormous area affected at the 10,430 vBP event calls for an exceptionally high magnitude and intensity of ground shaking. It was also observed (Mörner, 1976, 1985) that the values of the magnetic intensity increase had a maximum just SE of Stockholm, which happens to fit very well with the assumed epicentral area (Fig. 10; Mörner, 2003).

The fact that the small grains or particles, responsible for the paleomagnetic signals, are able to move, rotate and re-align at ground-shaking of earthquakes suggests this as a tool of discriminating between plastic deformations and liquefaction structures (Mörner and Tröften, 1993; Sun, 2005; Mörner and Sun, 2008). The

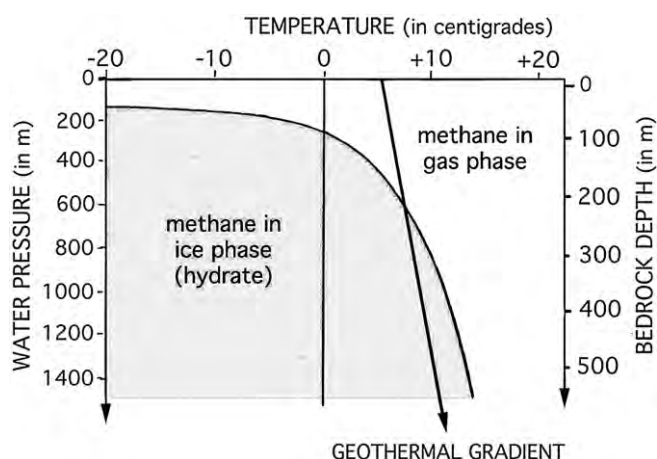


Fig. 12. The subsurface phase-boundary between methane in ice (hydrate) phase and in gas phase. At permafrost, the geothermal gradient is displaced to the left allowing the ice phase to move up to a depth of ~80 m. At glacial ice cover, the loading pressure increases so much the ice phase may move all the way up to the bedrock surface. Methane gas seepage may accumulate as ice (hydrate) in any void and fracture in the bedrock. At deglaciation, when temperature increases and pressure decreases, the ice phase must switch into gas phase. This may happen instantaneously and explosively. An earthquake may also trigger the phase change (as illustrated in Fig. 4B).

most spectacular example comes from a liquefaction mushroom structure formed at the 9428 vBP event in Umeå (Mörner, 2003, 2008a) where three different modes of grain orientation were detected (Mörner and Sun, 2008); a laminar flow of sand and coarse silt grains, a turbulent flow of fine silt to coarse clay particles (which have a totally random grain distribution in the anisotropy of magnetic susceptibility; AMS), and a free motion of the very fine magnetic grains (which have a sharp orientation to the VGP of that time).

11. Discussion and conclusions

There are many different means of recording an earthquake in the past. Nothing is, of course, better than to do this by several independent methods. Therefore, this has been the methodology in investigation of paleoseismic events in Sweden. Only events that are recorded by more than one criterion and are well dated enter into our Paleoseismic Catalogue (Mörner, 2003, 2005). At present, it includes 59 separate events (Fig. 2).

All the complicated and multifaceted records behind the individual events can be combined and condensed into simple diagrams like those of Tables 1–4. This is a novel way of expressing complex paleoseismic background data. At the same time, these figures open easy assessments of intensity and approximate magnitude (Tables 5 and 6). Intensity is expressed in the new ESI intensity scale (Michetti et al., 2007). Magnitude can only be approximately estimated and will remain relative. It may be significant, however, that Adams (2005) found a good and logical distribution of the magnitudes assigned to the Swedish events (Mörner, 2003) with respect to the Wells and Coppersmith distribution (1994).

Table 5 gives the evaluation of the Table 1 parameters linked to the 10,430 vBP event in Southern Sweden. Obviously this was a very strong paleoseismic event. The intensity was of factor XII. The magnitude, though relative, is estimated at $M > 8$ (the spatial distribution of liquefaction and bedrock fracturing are especially important for this estimate).

Table 6 gives the evaluation of the Table 2 parameters linked to the 9663 vBP event in the Hudiksvall area. This paleoseismic event may be classified as one of the best-studied events there is today because of all the various data involved (Mörner et al., 2000; Mörner, 2003, 2008a). Obviously, this was another very strong event. The intensity was of factor XII and the magnitude of around 8 or maybe even $M > 8$.

The 4800 and 3000 BP events (Tables 3–4) have previously been discussed with respect to intensity and magnitude (Mörner, 2009a).

Bedrock fracturing over areas of 50×100 km at the 10,430 vBP event and 50×50 km at the 9663 vBP event calls for very strong ground shaking. Such large areas of fracturing have serious implications for long-term safety estimates of bedrock repositories, and violates theoretical diagrams used to claim that, beyond 1 km away from a major fault zone, there can only be negligible fracturing and bedrock dislocation.

Table 5

Application of the INQUA Intensity scale and Magnitude estimates to the Fig. 3 summary of the sequence of events involved in the 10,430 vBP earthquake event.

Parameter	Character	Intensity	Magnitude
Primary normal fault	Unknown	?	?
Lateral-sympathetic fault	8 m	XII	~8 to >8
Bedrock fracturing	Size and area	XII	>8
Earth slides	Few	?	?
Shaking	Novel factor	(XII)	(~8)
Liquefaction	Size and area	XII	8–9
Tsunami	Wave height	XII	>7 to ~8

Table 6

Application of the INQUA Intensity scale and Magnitude estimates to the Fig. 4 summary of the sequence of events involved in the 9663 vBP earthquake event.

Parameter	Character	Intensity	Magnitude
Primary thrust fault	Size	XII	8 to >8
Bedrock fracturing	Size and area	XII	>8
Earth slides	Few	~XI	~7
Liquefaction	Area	XII	>7
	Size and 5 phases	XII	~8 (to >8)
Tsunami	Wave height	XII	>7 to ~8
Turbidite	Area (new factor)	(XII)	(~8)
Methane venting	Novel factor	(XII)	(7–8)

A common character of the recorded liquefaction structures is the occurrence of layers of structureless sand, the primary bedding being erased by the shaking and its causative liquefaction of the bed. These layers search to vent by penetrating covering layers. Stones and blocks may be found to “swim” in the liquefied beds. The documentation of repeated phases of liquefaction is important and is understood in terms of shocks and aftershocks.

Tsunami events are common (Mörner, 2008b; Mörner and Dawson, 2011). Wave heights in the order of 15–20 m seem frequently to have occurred. The waves also trim the seabed and may therefore contribute to the wide distribution of turbidites; 200×320 km for the 10,430 vBP event and 90×320 km for the 9663 vBP event (Mörner and Dawson, 2011, Fig. 6).

Dating by annual glacial clay varves provides a quite remarkable resolution, which allows us to quantify the frequency of events and the spatial distribution of different parameters. In the case of the 10,430 vBP event even the season of the earthquake could be defined. It occurred in the autumn of varve 10,430 vBP.

Methane venting tectonics is a novel factor in paleoseismology. A degassing through the varved clay deposits up to the seabed surface at 9663 vBP is recorded and examined by stable isotope analyses. There are also indications of explosive venting giving rise to large bedrock deformations or “methane venting tectonics”. A mega-event occurred as late as 2000 BP, and it set up a 20 m tsunami wave (Mörner and Dawson, 2011, Fig. 13).

Magnetic grain rotation in association with seismic ground shaking is another novel finding (Mörner and Sun, 2008). This process can be used to discriminate between plastic deformations and liquefaction structures.

In conclusion, the paper shows that complex and extensive primary field data can be condensed and simplified into synthetic diagrams (Tables 1–4). These diagrams can then be used to simplify the interpretation with respect to intensity and magnitude (Tables 5–6).

Acknowledgments

The basic studies were undertaken at the department of Paleogeophysics & Geodynamics at Stockholm University (which I headed 1991–2005). The 9663 vBP event was the target of a major international project including Franck Audemard, Sue Dawson, Douglas Grant, Andrej Nikonov, Dimitri Zykov, beside our own team of Christian Bronge, Ole Kvamsdal, Alf Sidén, Rabbe Sjöberg, Guangyu Sun, Per Erik Tröften, Hans Wigren. In 1999 and 2008, we ran international excursions devoted to the process of land uplift and documented paleoseismic records in Sweden.

References

- Adams, J., 2005. Appendix 5. On the probable rate of magnitude ≥ 6 earthquakes close to a Swedish site during a glacial cycle. In: Hora, S., Jensen, M. (Eds.), Expert Panel Elicitation of Seismicity Following Glaciation in Sweden. SSI Report 2005, Vol. 20, pp. 33–59. http://www.ssi.se/ssi_rapporter/ssiapport.html.

- Atwater, B.F., Moore, A.L., 1992. A tsunami about 1000 years ago in Puget sound, Washington. *Science* 258, 1614–1617.
- Bäckholm, G., Munier, R., 2002. Effects of Earthquakes on the Deep Repository for Spent Fuel in Sweden on Case Studies and Preliminary Model Results. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. TR-02–24.
- Bergström, R., 1968. Stratigrafi och isrecession i södra Västerbotten. In: *Sveriges Geol. Undersökning*, C-634 1–76.
- Björklund, A., 1990. Methane venting as a possible mechanism for glacial plucking and fragmentation of Precambrian crystalline bedrock. *Geol. Fören. Stockholm Förhandl.* 112, 329–333.
- Brunnberg, L., 1995. Clay-varve chronology and deglaciation during the Younger Dryas and Preboreal in the easternmost part of the Middle Swedish ice marginal zone. *Quaternaria*, Series A 2, 1–94.
- Bucknam, R.C., Hemphill-Haley, E., Leopold, E.B., 1992. Abrupt uplift within the past 1700 years at Southern Puget sound, Washington. *Science* 258, 1611–1614.
- De Geer, G., 1940. *Geochronologia Suecica Principes*. In: *Kungl. Sv. Vet. Akad. Handl.* 3rd, Vol. 18:6 1–360.
- Dehls, J.F., Olesen, O., Olsen, L., Blikra, L.H., 2000. Neotectonic faulting in northern Norway: the Stuaragurra and Nordmannvikdalen postglacial faults. *Quaternary Science Reviews* 19, 1447–1460.
- dePolo, C.M., Clark, D.G., Slemmons, D.B., Ramelli, A.R., 1991. Historical surface faulting in the Basin and Range province, western North America: implications for fault segmentation. *Journal of Structural Geology* 13, 123–136.
- Guerrieri, L., Baer, G., Hamiel, Y., Amit, R., Blumetti, A.M., Comerci, V., Di Manna, P., Michetti, A.M., Salamon, A., Mushkin, A., Sileo, G., Vittori, E., 2009. InSAR data as a field guide for mapping minor earthquake surface ruptures: ground displacements along the Paganica Fault during the April 6th, 2009, L'Aquila earthquake. *Journal of Geophysical Research Solid Earth* 110.1029/2010JB007579.
- Gustafsson, J.P., 1905. Über die Grenzlager des spätglacialen Bändertons in der Gegend von Upsala. *Bull. Geol. Inst. Upsala* 6, 258–275.
- Haas, A., Peckmann, J., Elvert, M., Sahling, H., Bohrmann, G., 2010. Patterns of carbonate authigenesis at the Kouilou pockmarks on the Congo deep-sea fan. *Marine Geology* 268, 129–136.
- Hovdal, M., Judd, A.G., 1988. Seabed Pockmarks and Seepages. *Impact on Geology, Biology and the Marine Environment*. Graham & Trotham Ltd, London, 293 pp.
- Jacoby, G.C., Williams, P.L., Buckley, B.M., 1992. Tree Ring correlation between prehistoric landslides and abrupt tectonic events in Seattle, Washington. *Science* 258, 1621–1623.
- Järnefors, B., 1956. Isrecession inom Uppsalaområdet. *Geol. Fören Stockholm Förhandl.* 78, 301–315.
- Karlin, R.E., Abella, S. E. B., 1992. Paleoequakes in the Puget sound region recorded in sediments from Lake Washington, U.S.A. *Science* 258, 1617–1620.
- Kotilainen, A., Hutri, K.-L., 2004. Submarine Holocene sedimentary disturbances in the Olkiluoto area of the Gulf of Bothnia: a case of postglacial paleoseismicity. *Quaternary Science Reviews* 23, 1125–1135.
- Kuivamäki, A., Vuorela, P., Paananen, M., 1998. Indications of Postglacial and Recent Bedrock Movements in Finland and Russian Karelia. *Geol. Survey Finland, Rep.* YST-99, 1–92.
- Kujansuu, R., 1964. Recent faults in Finnish Lapland (in Finnish). *Geologi* 16, 1–30.
- Lagerbäck, R., 1990. Late quaternary faulting and paleoseismicity in northern Sweden, with particular reference to the Lansjärv area, northern Sweden. *Geol. Fören. Stockholm Förh.* 112, 333–354.
- Lukasov, A.D., 1995. Paleoseismotectonics in the Northern Part of Lake Onega (Zaonezhskij Peninsula, Russian Karelia). *Geol. Survey Finland, Rep.* YST-90, 1–36.
- Lundqvist, J., Lagerbäck, R., 1976. The Pärve fault: a late-glacial fault in the Precambrian of Swedish Lapland. *Geol. Fören Stockholm Förhandl.* 98, 54–61.
- Michetti, A.M., Esposito, E., Guerrieri, L., Porfido, S., Serva, L., Tatevossian, R., Vittori, E., Audemard, F., Azuma, T., Clague, J., Comerci, V., Gurpinar, A., McCalpin, J., Mohammadioun, B., Mörner, N.-A., Ota, Y., Roghoin, E., 2007. Intensity scale ESI 2007. In: Guerrieri, L., Vittori, E. (Eds.), *Mem. Descr. Carta Geol. D'Italia. Servizio Geologico D'Italia*, vol. 74. Dipartimento Difesa del Suolo, APAT, Rome, Italy.
- Mörner, N.-A., 1969. The Late Quaternary history of the Kattegatt Sea and the Swedish West Coast: deglaciation, shoreline displacement, chronology, isostasy and eustasy. *Sveriges Geol. Undersökning* C-640, 1–487.
- Mörner, N.-A., 1976. The Pleistocene/Holocene boundary: a proposed boundary-stratotype in Gothenburg. *Boreas* 5, 193–275.
- Mörner, N.-A., 1979. The Fennoscandian uplift and Late Cenozoic geodynamics: geological evidence. *Geojournal* 3, 287–318.
- Mörner, N.-A., 1980. A 10,700 year's paleotemperature record from Gotland and Pleistocene/Holocene boundary events. *Boreas* 9, 283–287.
- Mörner, N.-A., 1985. Paleoseismicity and geodynamics in Sweden. *Tectonophysics* 117, 139–153.
- Mörner, N.-A., 1991. Intense earthquakes and seismotectonics as a function of glacial isostasy. *Tectonophysics* 188, 407–410.
- Mörner, N.-A., 1993. Methane dehydration tectonics. *Bull. INQUA Neotectonics Comm.* 16, 71–72.
- Mörner, N.-A., 1995. The Baltic ice lake – Yoldia Sea transition. *Quaternary International* 27, 95–98.
- Mörner, N.-A., 1996. Liquefaction and varve disturbance as evidence of paleoseismic events and tsunamis: the autumn 10,430 BP event in Sweden. *Quaternary Science Reviews* 15, 939–948.
- Mörner, N.-A., 1997. Seismomagnetization: Increased Intensity Due to Sediment Shaking IAGA 97, Abstracts, 97.
- Mörner, N.-A., 2001. In absurdum: long-term predictions and nuclear waste handling. *Engineering Geology* 61, 75–82.
- Mörner, N.-A., 2003. Paleoseismicity of Sweden – A Novel Paradigm. A Contribution to INQUA from its Sub-commission of Paleoseismology. Reno 2003, ISBN 91-631-4072-1, 320 pp.
- Mörner, N.-A., 2004. Active faults and paleoseismicity in Fennoscandia, especially Sweden: primary structures and secondary effects. *Tectonophysics* 380, 139–157.
- Mörner, N.-A., 2005. An investigation and catalogue of paleoseismology in Sweden. *Tectonophysics* 408, 265–307.
- Mörner, N.-A., 2008a. Paleoseismicity and Uplift of Sweden, Guidebook, Excursion 11 at 33rd IGC, Oslo 2008, 107 pp. www.33IGC.org.
- Mörner, N.-A., 2008b. Tsunami Events within the Baltic. In: *Polish Geological Institute, Special Papers*, Vol. 23 71–76.
- Mörner, N.-A., 2009a. Late Holocene earthquake geology in Sweden. *Geological Society of London* 316, 179–188. *Spec. Publ.*
- Mörner, N.-A. (2009b). Liquefaction as evidence of paleoseismics. 1st INQUA-IGCP 567 International Workshop on Earthquake Archaeology and Paleoseismology, Baelo Claidia, Spain, pp. 95–97.
- Mörner, N.-A., 2010. Seismotektoniska grottor i Finland. *Grottan* 45 (4), 6–14.
- Mörner, N.-A., Dawson, S., 2011. Traces of tsunamis events in off- and on-shore environments. Case studies in the Maldives, Scotland and Sweden. In: Mörner, N.-A. (Ed.), *The Tsunami Threat: Research and Technology*. InTech Publ. Co, pp. 371–388.
- Mörner, N.-A., Somi, E., Zuchiewicz, W., 1989. Neotectonics and paleoseismicity within the Stockholm intracratonal region of Sweden. *Tectonophysics* 163, 289–303.
- Mörner, N.-A., Strandberg, S., Marviken, 2009. Geologiskt baserad namntolkning. *Saga och sed. Kungl. Gustav Adolfs Akademiens årsbok*, 179–185.
- Mörner, N.-A., Sun, G., 2008. Paleoequake deformations recorded by magnetic variables. *Earth and Planetary Science Letters* 267, 495–502.
- Mörner, N.-A., Tröften, P.E., 1993. Paleoseismotectonics in glaciated cratonal Sweden. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 94, 107–117.
- Mörner, N.-A., Tröften, P.E., Sjöberg, R., Grant, D., Dawson, S., Bronge, C., Kvamsdal, O., Sidén, A., 2000. Deglacial paleoseismicity in Sweden: the 9663 BP Iggesund event. *Quaternary Science Reviews* 19, 1461–1468.
- Munier, R., Hökmark, H., 2004. Respect Distances: Rationale and Means of Computation. *Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. TR-04–17*.
- Nikonov, A.A., Zikov, D.S., 1996. Paleoseismodeformations in Eastern Fennoscandia. In: *Seismology in Europe 25th General Assembly*, Reykjavik, Iceland, p. 126–129.
- Ondrea, H., Olu, K., Fouguet, Y., Charlou, J.L., Gay, A., Dennielou, B., Donval, J.P., Fifi, A., Nadalig, T., Cochonat, P., Cauquil, E., Bourillet, J.F., Le Moigne, M., Sibuet, M., 2005. ROV study of a giant pockmark on the Gabon continental margin. *Geo-Marine Letters* 25, 281–298.
- Serva, L. (1995). *Criteri geologici per la valutazione della sismicità: considerazioni e proposte*. In: *Atti dei Convegni dei Lincei*, 122. Convegno: I terremoti in Italia - previsione e prevenzione dei danni, 1–2 dicembre 1994.
- Schuster, R.L., Logan, R.L., Pringle, P.T., 1992. Prehistoric rock avalanches in the olympic mountains, Washington. *Science* 258, 1620–1621.
- Sjöberg, R. (1994). *Bedrock caves and fractured bedrock surfaces in Sweden. Occurrence and origin*. Stockholm University, Ph.D.-thesis, P&G 7, 1–110.
- Sjöberg, R., 2009. *Metanutbrott bildade blockgrottor*. *Grottan*, Årg 44, 34–38.
- Strömberg, B., 1989. Late Weichselian deglaciation and clay-varve chronology in east-central Sweden. *Sveriges Geol. Undersökning* Ca 73, 1–70.
- Sun, G. (2005). *The characters of magnetic records of deformed soft sediments with special emphasis on deformations due to earthquakes*. Stockholm University, Ph.D.-thesis, P&G 10, 1–122.
- Tröften, P.E., (1997). *Neotectonics and paleoseismicity in southern Sweden with special emphasis on sedimentological criteria*. Stockholm University, Ph.D.-thesis, P&G 8, 1–124.
- Tröften, P.E., Mörner, N.-A., 1997. Varved clay chronology as a means of recording paleoseismic events in southern Sweden. *Journal of Geodynamics* 24, 249–258.
- Wells, D.L., Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America* 84, 974–1002.