

GROTTAN

SVERIGES SPELEOLOGFÖRBUND

NR 4 DECEMBER 2010

ÅRGÅNG 45

SEISMOTEKTONISKA GROTTOR I FINLAND

Nils-Axel Mörner

i samarbete med

Arto Lauri och Vesa Noroviita



Nils-Axel Mörner är docent i geologi. Han var föreståndare för enheten för Paleogeofysik & Geodynamik vid Stockholms universitet (1991-2005). Han kom tidigt att arbeta med neotektonik och paleoseismicitet. Hans "Paleoseismological Catalogue of Sweden" omfattar idag 59 stora jordbävningar efter istiden. Han är författare till böckerna *Paleoseismicity of Sweden - a novel paradigm* (2003) och *Detta Eviga Avfall* (2009). Med denna artikel tar han steget över till Finland och visar att där föreligger samma strukturer och händelser som i Sverige.

Rabbe Sjöberg skrev sin doktorsavhandling om seismotektoniska grottor (1994). Själv sammanfattade jag alla kända jordbävningsslokaler i en större bok (2003). Då kände vi 54 stora jordbävningar efter istiden. Nu har antalet ökat till 59 (och många fler lär det bli med åren). Bevisen för dessa jordbävningar hämtar vi från sedimenten (liquefaction-strukturer, tsunamilager, deformerade varv, etc) och berggrunden (sprickor, förkastningar och grottbildningar). Det står numera höjt över normala tvivel att många av vårt

lands grottor bildats vid stora jordbävningar. Vi har varit mycket framgångsrika med dessa studier just tack vare vår kombination av berggrundsstrukturer med sedimentsstrukturer och datering med varvchronologi. Så borde det också vara i Finland. Men så var inte fallet förrän vi förra året steg in på arenan och började hitta typiska jordbävningssstrukturer i berg och sediment. Det är detta denna lilla uppsats skall handla om.

1. Åbo

Det berg där Åbo vattentorn är placerat heter Luolavuori, vilket betyder "grottberget" (Fig. 1). Här finns grottor, sprickor, stora kantiga block som rivits ur plats efter istiden (Fig. 2). Så känner vi många lokaler i Sverige (inte minst Bodagrottorna). Det intressanta i detta sammanhang är att vi för första gången beskriver sådana grottor i Finland och kan förklara dess bildning som orsakad av en jordbävning av hög magnitud.

Strax intill själva grottorna finns en deformerad bergknalle (punkt 2 i Fig. 1) som klart och tydligt visar att berget deformeras av en stor jordbävning efter istiden. En tidigare berghäll av typ rundhäll har här styckats i tre delar av två spricklinjer längs vilka de individuella blocken förkastats. Den dominerande deformationsriktningen är uppåt (Fig. 3) - d.v.s. mot gravitationen, något som bara är möjligt vid stora jordbävningar. Därmed visar denna lokal klart och tydligt på att området har utsatts för en stor jord-

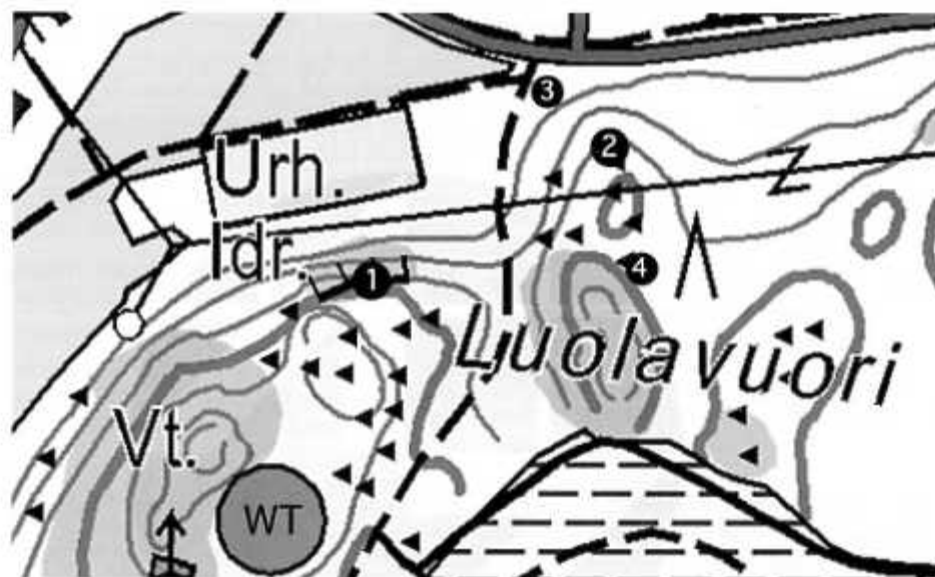


Fig. 1. Karta över "grottberget" Luolavuori i Åbo. WT = vattentorn, (1) själva grottan och blockbranten, (2) det seismotektoniskt deformerade berget, (3) stort lösbrutet block, (4) stort lösbrutet block med gamla glacialytan i vertikalled.

Fig. 2. Luolavuorigrottan (till vänster) och omkringliggande skarpkantade block (till höger) som brutits loss ur berget efter isavsmältningen. Berget genomkorsas av stora sprickor, några med öppna gångar.



bävning. Denna måste ha skett efter det att landisen lämnade, eftersom blocken, trots att de nu är lösa, ligger kvar på plats. Dessutom är blocken skarpkantade och utan spår av glacialerosion.

Deformationen framgår av Fig. 3. Det högre blocksegmentet uppvisar klar förskjutning uppåt samt uppsprickning i två större block. Det mellersta segmentet visar en upplyftning med tippning mellan de två förkastningsprickorna. Dessa förskjutningar av jättelika block direkt mot gravitationen kan, som sagt, bara förklaras med en

jordbävning. I det avseendet är denna lokal (Fig. 3) mycket mer entydig än vad deformationerna vid själva grottna är (Fig. 2) men ger samtidigt starkt stöd för en seismotektonisk bildning av Luolavuoris grottor.

2. Laitila

Vid Laitila har vi två fina grottolokaler (Hautvuori och Linnavuori; Fig. 4) som helt och fullt svarar mot de seismotektoniska grottor som tidigare beskrivits i Sverige. Dessutom är den seismotektoniska händelsen belagd

Fig. 3. Starkt deformerat berg som ger klart bevis på en kraftig jordbävning efter det att landisen lämnat området. Bergknallen (en tidigare rundhäll) har spruckit och förkastats längs två linjer markerade med pilar. Bergsegment 1 visar en stark uppförkastning och uppdelning i två stora block som förskjutits inbördes samt ett spetsigt fragment som brutits loss och fallit framåt (4). Centralblocket (2) visar en uppförkastning och tippning mellan de två sprickplanen. Block 3 är starkt uppförkastat. Som helhet domineras hela deformationen av en uppåtgående rörelse (alltså mot gravitationen) något som bara kan ske vid en jordbävning av hög magnitud.



och daterad i fyra separata sedimentlokaler över ett område på 10 km (Fig. 4). Uppenbarligen skakades området av en mycket stor jordbävning 67 år efter det att landisen lämnat Laitila-området.

Lokalen Hautvuori består av några bergknallar som mer eller mindre totalt deformerats till blockhögar (Fig. 5). Likheten med Bodagrottna i Sverige är slående. Ett antal separata grottor förekommer på olika platser. Det rör sig om fritt rum mellan och under stora block (Fig. 6). Dessa har inte detaljstudierats och någon kartering förelig-

ger inte. I en av grottna är botten täckt av littorinalera med marina skal (Fig. 6), vilket bevisar att grottsystemen låg öppna på Östersjöns botten för ca 6000 år sedan. Huvudsyftet med vår dokumentation var deformationen och dess orsak. De enskilda blocken

Fig. 4. Området SV om Laitila. Punkterna 1 och 2 refererar till de seismotektoniska grottna Hautvuori och Linnavuori. Punkterna 3-5 refererar till sedimentlagerföljder där händelsen registrerats och daterats till 67 varv efter isavsmältningen. En 6:e sedimentlokal ligger 7 km NV om Laitila och där finns samma deformation registrerad.

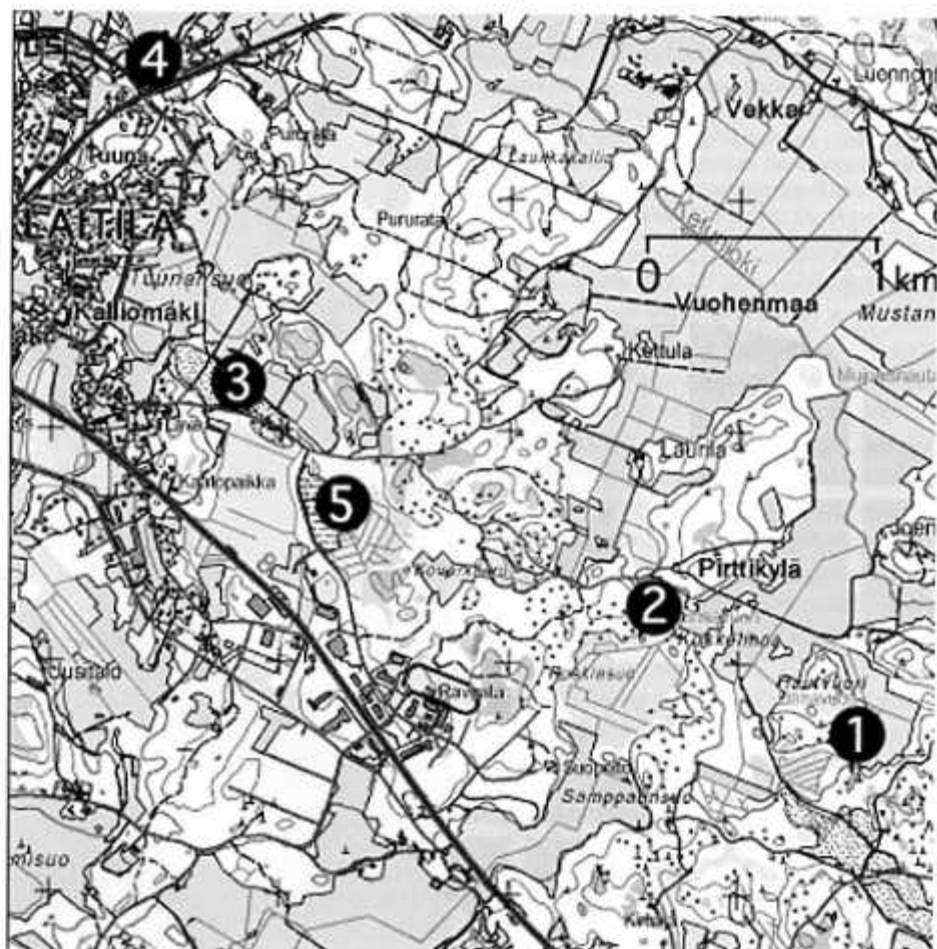




Fig. 5. Den centrala bergknallen vid Houtvuori är deformerad till något som närmast är att beteckna som en blockhög bestående av kantiga block staplade på varandra av enorma krafter som skakat berggrunden och fått den att spricka och blocken att hoppa och dansa.

är skarpkantade och utan påverkan av glacialerosion (utom vad gäller gamla glidytor som förekommer på några block men nu i deformerade och roterade lägen). Det är frapperande hur långt åt sidorna som blocken kastats (Fig. 7). Detta tyder på att marken skakat våldsamt; alltså en jordbävning. På östsidan mätte vi in blockens skivighet och riktningen för den sidledes utkastningen till $O12^{\circ}N$, och på västsidan till $V15^{\circ}S$. Detta skulle kunna tyda på en skakriktning längs linjen $255-75$ grader. I så fall skulle berget ha kunnat fungerat som en "seismograf" (på samma sätt som Telegraf-berget på Runmarö i Sverige gjorde; Mörner, 2003, sid.241) vilket innebär att epicentrum kan vara att finna längs denna linje.

Fig. 6. Houtvuori; grottbildningar (pilar) mellan och under de separata blocken (A). I en av grotterna täcks botten av littorinalera med marina skal (B).



Fig. 7. Houtvuori sett från söder. Deformationen domineras av en uppåtgående rörelse (kraftig pil uppåt) och en sidledes utkastning av block (lutande pil) i riktning $O12^{\circ}N$ som är ca tre gånger så lång. Vertikalförskjutningen kan bara ske vid en jordbävning. Längden på den sidledes utkastningen av block kan knappast förklaras utan en våldsamt skakning av berggrunden så att blocken får extra kraft att förflyttas utåt.

Lokalen Linnavuori (Kirkkelinna) är en annan bergknalle med omgivande berg-ytor som deformerats mer eller mindre totalt (Fig. 8). Därvid har grottor och gångar bildats på flera platser. På Fig. 8 ser man hur kolossala blocksegment lyfts upp längs ett förkastningsplan och tippats över i lutande position. Inget annat än en jordbävning kan åstadkomma en sådan rörelse mot gravitationen. Blockets storlek och deformation anger att jordbävningens storlek måste ha varit avsevärd.

En sådan jordbävning måste naturligtvis även lämna spår i sedimenten. Just därför är det av stor betydelse att vi i detta fall även dokumenterat denna jordbävning i sediment-lagerföljden på fyra olika platser (Fig. 4). På samtliga fyra platser dokumenterade vi liquefaction (d.v.s. lager som blivit flytande på grund av skakningen) och deformationer. Den flytande sanden har trängt upp genom överliggande varviga lera, deformerat leran och spritt ut sig som en svamp på överytan (vi kallar det lagret för en "seismit"

eftersom det orsakats av en jordbävning). I två av lokalerna har vi lyckats mäta in varven mellan botten och denna "seismit"; i lokal 3 mätte vi in 65 varv (exklusive några i botten) och i lokal 4 mätte vi in 67 varv (Fig. 9). Därför anser vi att jordbävningen skedde 67 år efter det att landisen lämnade området.

Den jordbävning som vi dokumenterat i sex olika lokaler i Laitilaområdet måste ha varit av en betydande magnitud att döma av deformationernas karaktär och utbredning; troligen runt 7 på Richterskalan.

3. Sorkka

Här har vi en serie mindre blockgrottor. Vi har inte intresserat oss för dessa grottor i sig, men för deformationen som sådan. På dalens nordsida reser sig en vertikal basaltvägg. Det ser ut som en förkastningsbrant, men behöver inte vara det. Utanför ligger en 200-300 m bred dal som är täckt av leror. Den andra sidan av dalen utgörs av



Fig. 8. Linnavuori; bergytan har förkastats uppåt längs den vertikala ytan och två jätteblock har stjälpts över i lutande position. Kolossala krafter har varit verksamma. Hela höjden bakom är deformerad till block som rört sig och roterat. Under och mellan blocken har större och mindre grottor bildats.

ett sluttande granitberg vars yta är starkt uppsprucket och deformerat. Blocken är skarpkantade och utan spår av glacialerosion. Uppenbarligen har ytan deformerats efter det att landisen lämnat området. I detta blockkaos finns många mindre grottor. Ingen som helst kartering föreligger.

Den bakomliggande tektoniska modellen framgår av Fig. 10. Det rör sig om en megatektonisk struktur. Vid en - eller snarare flera - jordbävningar förkastades basaltberget uppåt med 10-15 m. Samtidigt försköts och skakades granitberget i söder varvid dess yta sprack upp och deformerades. Detta måste ha skett någon gång efter det att landisen lämnat området.

4. Irjanne

Här hittade vi hösten 2009 för första gången klara liquefaction-strukturer vilka bevisar att området skakats av en större jordbäv-

ning (med en magnitud på minst 6). När detta skett kan vi inte avgöra utan kompletterande studier av närliggande varviga lera.

5. Olkiluotohalvön

Även här i den direkta närheten till kärnkraftverken och den planerade avfallslagringsplatsen förekommer det förkastningar, sprickor och mindre grottbildningar. De stora förkastningslinjer som omger halvön har rört sig strax efter istiden enligt en studie av Kotilainen & Hutri (2004).

Metangasavgång har iakttagits på havsbotten och uppmäts i borrhål. Uppenbarligen har vi att göra med ovanligt stort metangasläckage. Detta är intressant, eftersom vi därmed kan förmoda att området även kan ha utsatts för metangastektonik (Mörner, 2003).

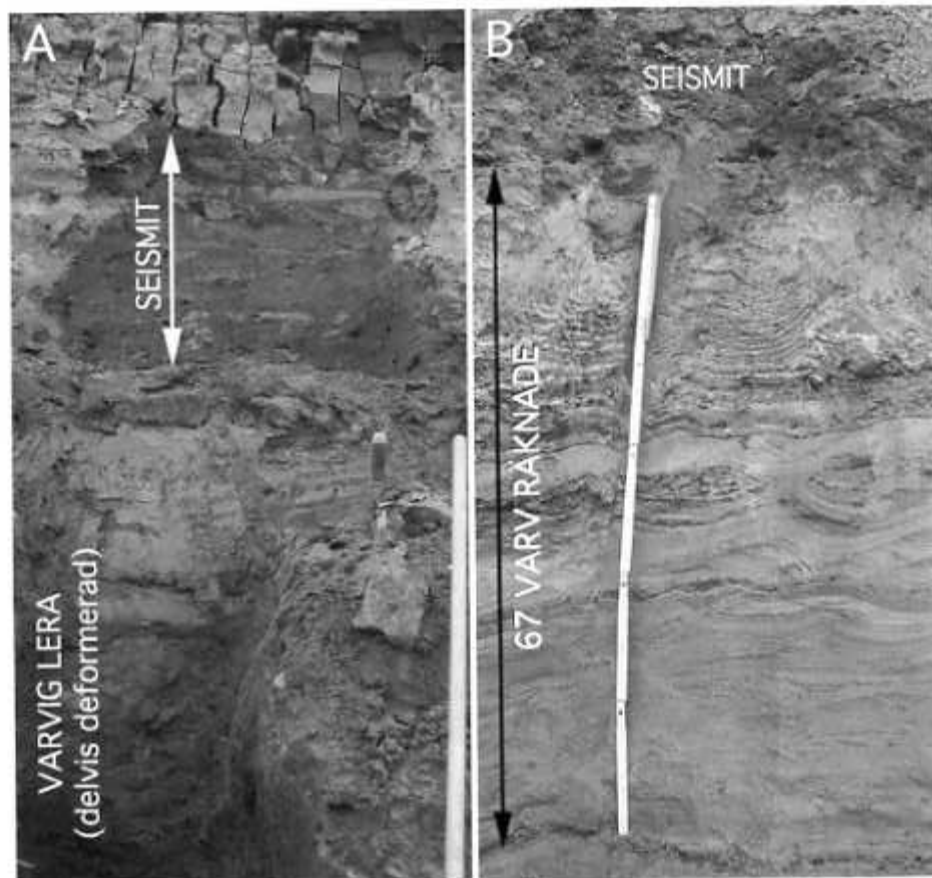


Fig. 9. Valda avsnitt av sedimentlagerföljderna i lokalerna 3 (A) och 4 (B). En jordbävning orsakade omfattande liquefaction i båda lokalerna samt kraftiga deformationsstrukturer (inte med på bilderna). Den flytande sanden penetrerade den varviga leran (under deformation) och spred sig sedan sidledes som en "seismit" (senare täckt av yngre leror). I sektion A räknades 65 varv mellan seismiten och det första fervervet (två sandiga varv ej medräknade). I sektion B räknades 67 varv från det allra först varvet efter isavsmältningen upp till botten av seismiten. Lokaler visar att jordbävningen skedde 67 år efter isavsmältningen.

6. Slutsatser

Vi finner precis samma förhållanden i Finland vad gäller granitgrottor och paleoseismisitet som vi tidigare funnit i Sverige (Mörner, 2003). Vad vi presenterat kan knappast hänföras till en singular jättejordbävning utan snarare en serie kraftiga skalv

där samtliga skalv måste haft en magnitud på minst 6. Vad gäller jordbävningen vid Laitila, megatektoniken vid Sorkka och förkastningarna runt Olkiluotohalvön måste det röra sig om magnituder runt 7 (eller mer).

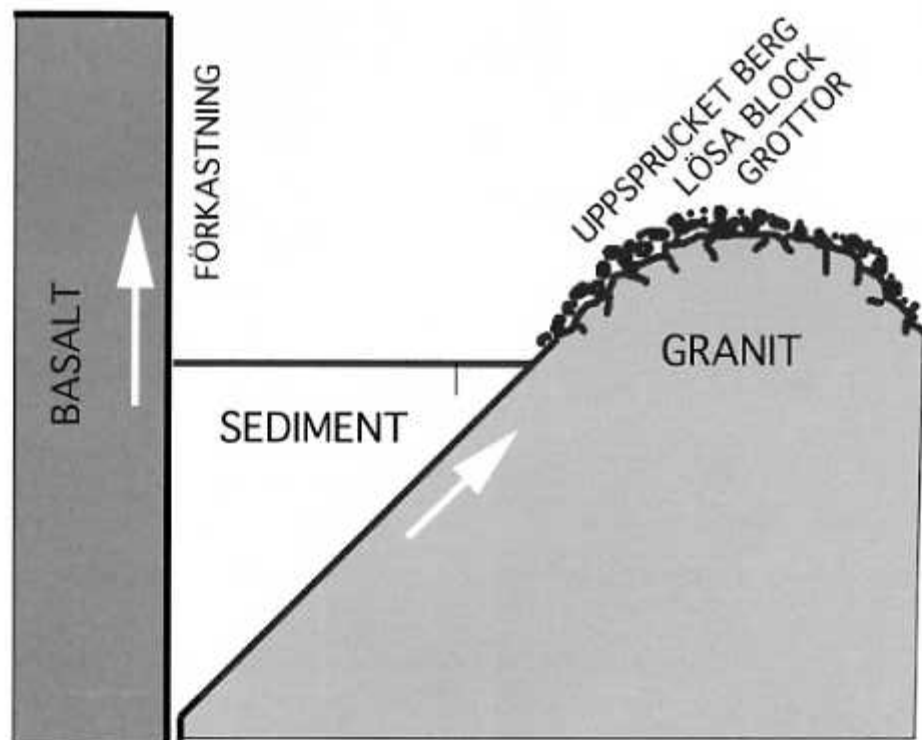


Fig. 10. Modell för megatektoniken vid Sorkka. Den 15 m höga basaltväggen i norr har uppförkastats vid en eller snarare fler jordbävningar. Granitblocket i söder måste också ha rört sig och skakats våldsamt, vilket fick bergytan att spricka upp i ett mycket stort antal kantiga block som nu ligger huller om buller. Mellan och under dessa block har ett flertal grottor bildats.

7. Referenser

- Kotilainen, A. & Hutri, K.-L., 2004. Submarine Holocene sedimentary disturbances in the Olkiluoto area of the Gulf of Bothnia, Baltic Sea: a case of postglacial paleoseismicity. *Quaternary Science Reviews* 23: 1125-1135.
- Mörner, N.-A., 2003. Paleoseismicity of Sweden – a novel paradigm. A contribution to INQUA from its Sub-commission of Paleoseismology, Reno. 320 sidor.
- Sjöberg, R., 1994. Bedrock caves and fractured rock surfaces in Sweden. Occur-

rence and origin. Fil.dr.-avhandling 6 vid P&G, Stockholms universitet. 110 sidor.

Summary (Author):

In southwest Finland, there are granitic caves. We discuss caves in Åbo, at Laitila, at Sorkka and on the Olkiluoto peninsula. They all have a seismotectonic origin. The caves at Laitila are especially clear because the deformation is also recorded in 4 sediment sequences, where it is shown to have occurred 67 varves after deglaciation.

Rabatterat pris (20%) på PETZL SRT-utrustning till SSFs medlemmar. Alla priser anges med rabatten avdragen och inklusive Moms. Fraktkostnader tillkommer. Beställ direkt hos C2 på telefon 018-67 79 90 och berätta att du är SSFmedlem.



Vertical Safety

www.c2safety.com



Sittsele
Fractio 982:00



Bröstslinga
Serpentine 231:00



Fotslinga
Footpro 285:00



Kosvans
Spelegyca 243:00



Firningsbroms
Stop 878:00



Repklämma
Croll 403:00



Repklämma
Basic 403:00



Snabblänk
Demi Rond 196:00



Skruvkarbin
Am'D 194:00



Utrustningssäck
Classique 723:00

Nu kan du också beställa Petzls nya grottlampa - Ultra Wide - vattentät, ljusstark och med perfekt ljusbild. Det här måste vara en av marknadens bästa lampor! Titta gärna på www.petzl.com Även lampan just nu med 20%rabatt!



Pannlampa
Ultra Wide 3295:00

NY NORSK BOK OM GROTTOR

Rabbe Sjöberg

Stein-Erik Lauritzen; GROTTOR. Norges ukjente underverden. 240 sid., väl illustrerad i fyrfärg. Tun Forlag (ISBN 978-82-529-3267-6), pris ca: 400 kr, är den korta beskrivningen av en nyutkommen bok, som kommer att bli en klassiker.

Det har varit lite svårt att hitta samlade uppgifter om norska karstgrottor. På 1940-talet utkom Gunnar Horns skrift Karsthuler i Nordland (NGU nr. 165) och tjugo år senare, 1968, Per Gunnar Hjorthens bok Grotter og grotteforskning i Rana (NGU Smaskrift nr. 9). Vi får inte heller glömma Trevor Faulkners ytterst svåråtkomliga doktorsavhandling "Cave inception and development in Caledonide meta-carbon rocks" från 2005. I övrigt finns det mesta gömt i engelska expeditjonsrapporter, i Norsk Grotteblad eller i ett större antal forskningsrapporter.

Det är svårt att finna en mera kapabel författare för denna bok än Stein-Erik Lauritzen, professor i speleologi och kvartärgeologi vid Bergens universitet, och därmed ansvarig för Skandinavien's enda akademiska grottforskarutbildning [1]. Stein-Erik har studerat de norska karstgrottorna i mer än 35 år. Hans internationella erfarenheter är mer än imponerande. Stein-Erik kan med

rätta betraktas som Nordens enda professionella grottforskare.

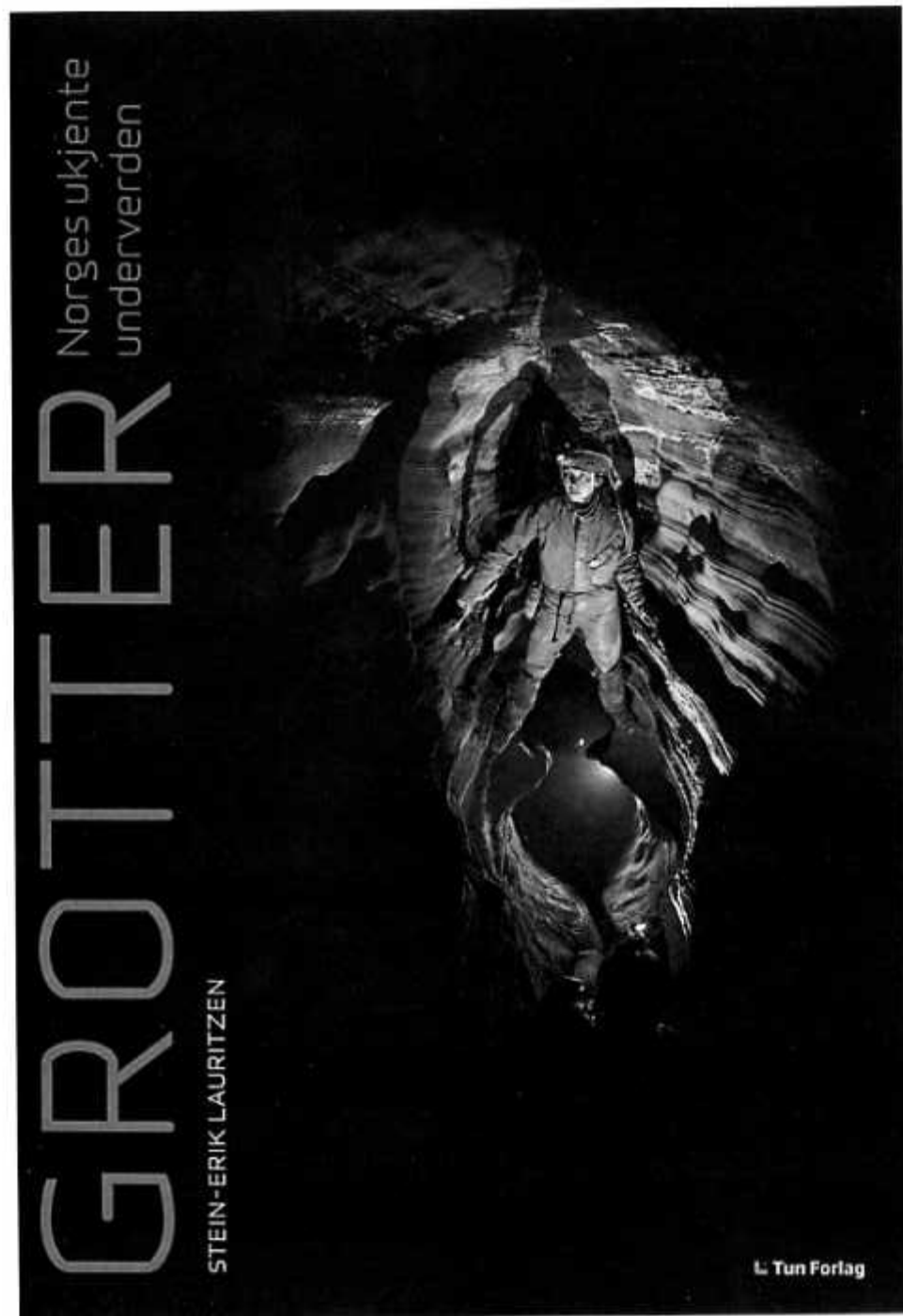
Författaren menar redan i förordet att målsättningen med boken är att på ett populärvetenskapligt sätt beskriva vad den aktuella forskningen kommit fram till vad gäller de norska grottornas bildning, geologi, biologi m.m. Den känsla boken är skriven med framgår redan i inledningens förtext, där författaren skriver: "Hensikten med denne boka er å formidle gleden ved og respekten for, og ikke minst kunnskapen om, grotter. I sin essens er dette fortellinger og fakta om et ytterst sårbart miljø. Vi har svært lite av det i Norge; det er meget lett å ødelegge alt sammen. Grotter har stor verdi som kilde til kunnskap, og det er igjennom økt kunnskap vi vil kunne bevare dem".

För den som läst liknande böcker utgivna i andra länder känns upplägget bekant. Författaren börjar med att beskriva det norska karstlandskapet och vad som särskiljer detta från de klassiska karstlandskapen i andra klimatzoner och geologiska förhållanden. Därefter följer kapitel om hur grottorna bildas och om grottornas innehåll. Även här är skillnaderna mot den klassiska karsten stor. Påföljande kapitel behandlar djur och människor i grottor. Härpå följer bokens kanske viktigaste kapitel: Grotter i Norge og hvordan de er dannet. Bokens avslutande kapitel behandlar grottforskning och gruvforskning som hobby och ett mycket tänkvärt avsnitt om grottskydd.

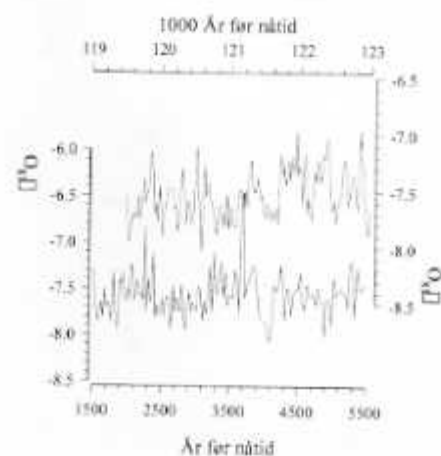
Vad som gör denna bok så speciellt värdefull är att den verkligen för läsaren till forskningsfronten. Vissa för oss gamla grottsisar självklara fakta visar sig vara helt fel. Vi får

[1] Information om kursen (10 poäng, Karstgeologi og karsthydrologi) finns på följande länk:

http://studentportal.uib.no/index.php?link_id=2264&sublink_id=&toplank_id=2411&mode=show_page&content_id=343&modus=vis_emne&kode=GEOV221



här hjälp att lära om! För mig med tyvärr bristande kemiska kunskaper var det t.ex. en nyhet att smältvattnet från glaciärerna (landisen) har ytterst lite korrosiv verkan. Den kraftigaste korrosionen äger faktiskt rum under mellanistiderna, där vi just befinner oss i en. Trevor Faulkner byggde hela sin avhandling på hur grottna bildades i samband med avrinningen från isdämda sjöar. Författaren påvisar här hur dessa hade en mycket varierande regim och att de varierande strandlägena faktiskt inte gav tid för grottbildning. Som god diplomat ger sig dock inte Stein-Erik in i konflikt med Trevor Faulkner i denna fråga – snarare förbigås Faulkner med tysthet. Inte heller i klimatfrågan sticker Stein-Erik ut hakan. Dock påtalar han de mycket snabba klimatvariationerna nu och 700 000 år tillbaka och visar i ett diagram (Fig. 1) hur värdena för syreisotopen ^{18}O varierat genom de två senaste mellanistiderna, den nuvarande holocen och den för 120 000 år sedan. Dessa kurvor är slående lika. Författaren ställer i figurtexten frågan: Var klimatet likt under de två perioderna? I en serie diagram över landskapets utveckling över flera istider vi-



sar författaren att de äldsta grottna måste återfinnas som erosionsrester högt upp i fjället och hur dessa med största sannolikhet är de kvarvarande resterna efter ännu äldre system. Jag kommer då direkt att tänka på vår egen grotta Hoppet, på fjällslätten ovanför Vadvedalen. Ett annat intressant exempel är ett tvärsnittskarta av Skandinaviens längsta (24 500 m) grotta Tjoarvekråjgge (Tjorve) som klart visar hur de olika gångsystemens fördelning i höjdnivå ligger på klara våningsplan som måste bero på hur de bildat olika basnivåer allt eftersom dalgången blivit djupare och djupare.

Författaren nämner, men relativt lite om, icke karstgrottor. Dock finner anmeldaren till sin stora stolthet att avsnittet om strandgrottor, eller brenningshuler som det heter på norska nästan helt baserar sig på min nu mer än 25 år gamla forskning.

Ett alltid lika intressant spörsmål är, hur många grottor finns det (i Norge)? I ett fantasieggande diagram visar Stein-Erik att alla de allra längsta grottna nog är funna. Matematiskt återstår 1 femtusenmetersgrotta, 5 tusenmetersgrottor, 14 femhundrametersgrottor och 58 trehundrametersgrottor att finna. Om man nöjer sig med en tiometersgrotta bör det finnas ytterligare 22 735 stycken! Det vore roligt att göra något liknande för svenska grottor.

I det avslutande kapitlet tar Stein-Erik Lauritzen upp frågan om grottskydd, grotterik m.m. och sätter denna fråga i diskussionen om grotturism, i synnerhet den så kallade upplevelseturismen. Han menar att det är antalet besökande som helt avgör om grottan ödeläggs, inte att den besöks. Han

Fig. 1. En jämförelse av ändringar genom vår glacial underst och den föregående interglacialen överst. De två kurvorna är påfallande lika!

talat om vern genom bruk. Att omfånget inte blir så stort att det "ödelegger eller brukar opp resursen". Drastiskt tillägger han "Det er som å fiske havet tomt for fisk eller å spise opp settepotetene sine".

Skall man ha någon kritik av denna fantastiska bok så är det att bild- och figurtexterna är nästan oläsliga. Stein-Erik ursäktar sig dock med att detta är förlagets fel som prompt ville ha denna design och att detta och de ovanligt få tryckfelet skall rättas till en förhoppningsvis andra upplaga.

Boken är ett måste för den som vill lära sig mera om grottna i den Skandinaviska fjällkedjan, däribland våra egna. KÖP BO-

KEN. Ett tips! Ett mycket trevligt sätt att tillgodogöra sig det kunskapsrika innehållet är att ordna en studiecirkel, där man träff efter träff diskuterar sig igenom bokens olika kapitel.

Summary (editorial):

Presentation of a recently published book from the norwegian professor in speleology Stein-Erik Lauritzen - *GROTTER Norges ukjente underverden*. The book provides extensive knowledge about norwegian karst caves, cave development, life in caves, sport caving and cave protection.

NY FOTOTÄVLING

Nu utlyser vi en ny fototävling. Temat den här gången är "VAITEN". Bilderna kan vara i färg eller svart-vitt, på papper, dia eller som en bildfil i valfritt format. Alla bilder kommer att ställas ut vid SSFs årsmöte 2011. Då kommer också en omröstning att genomföras för att kora en vinnare.

Förra årets tävling, som hade temat "URBERGSGROTTER" vanns av Andreas Wikström med en bild som man kan se på baksidan av Grottan nr 2/2008. Ett annat tävlingsbidrag finns på det här numrets baksida.

Även om vi fick in många fina bilder var deltagarantalet ganska lågt. Nu hoppas vi på bättring. Leta igenom era arkiv eller ta nya bilder - det är ju helt OK om vattnet är fruset...

Skicka bilderna till: grottanred@speleo.se senast 15 maj 2011.

Vattenfall. Foto: Sven Gunnvall

