

# GEOLOGISKT FORUM

The background image is a photograph of a volcanic landscape. In the center, there is a large, irregularly shaped geothermal pool with a light-colored, mineral-rich surface. Several plumes of white steam or smoke are rising from the ground around the pool and in the background. The terrain is rocky and barren, with some patches of low-lying vegetation. In the lower right, two small figures of people are visible, providing a sense of scale to the vast landscape.

NR 55 SEPTEMBER 2007  
ÅRGÅNG 14

Sinar oljan?

Geotermi på Island

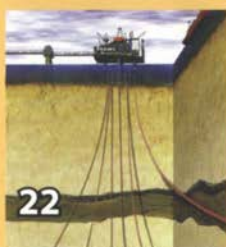
Förkastningarnas hemligheter

TEMA JORDENS ENERGI

## INNEHÅLL nr 55 september 2007



10



22



33

### NYHETER OCH REDAKTIONELLT

	SIDA
Geologi på distans.	3
När himmel möter jord.	4-5
Notiser. Att handskas med Vesuvius.	6-7
Högtryck i ballastbranschen.	8
Arkivet: Skakande upplevelser. <i>Harald Svensson.</i>	7
Kalendarium & Noterat.	33
En ny generation satellitbilder.	33
Bokrecension: 900 mineral i fickformat. <i>Dan Holtstam.</i>	34
Sista ordet: <i>Magnus Hellqvist.</i>	35
GeoNYTT, notiser mm.	36

### TEMA ENERGI

Jordens energi – ödesfråga, framtidsfråga. <i>Ulla Sundin Beck.</i>	10-12
Energifrågan: <i>Marian Radetzki, Lena Neij, Lars J. Nilsson.</i>	13
Bokpresentation: Energi – möjligheter och dilemman.	13
När når Jordens oljeproduktion sin topp? <i>Kjell Aleklett, Mikael Höök, Bengt Söderbergh.</i>	14-15
Förkastningarnas hemligheter. <i>Niclas Fredman.</i>	16-19
Lagring av CO <sub>2</sub> i berggrunden. <i>Björn Berger, Ola Eiken.</i>	20-22
Är torv fossilt eller inte? Om betydelsen av en term. <i>Dag Fredriksson.</i>	23-25
Det heta Island. <i>Erik Sturkell.</i>	26-29
Uran i Sverige och världen. <i>Bosse Gustafsson.</i>	30-32

Ansvarig utgivare: Joakim Mansfeld  
tel 08-674 77 27, e-post: [gff@geo.su.se](mailto:gff@geo.su.se)

Populärvetenskaplig redaktör: Anna Kim-Andersson  
tel 036-440 01 20, e-post: [anna@qi-media.se](mailto:anna@qi-media.se)  
För text, layout och bilder svarar redaktören där inget annat anges.

Redaktionens adress: Geologiska Föreningens redaktion  
Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet,  
106 91 Stockholm  
tel 08-6747727, fax 08-674 78 97  
e-post: [gff@geo.su.se](mailto:gff@geo.su.se); [www.geologiskaforeningen.nu](http://www.geologiskaforeningen.nu)

Omslagsbild, Erik Sturkell: Geotermiområdet Hverdalur i Kverkfjöll, Island.  
Upplaga: 3 300 ex.  
Tryckeri: Masala media.  
Ordinarie lösnummerpris: 50 kr.

För annonser, distribution, prenumerationsärenden, adress-  
ändring köp av tidigare nummer samt reklamationer: kontakta  
redaktionen.

ISSN 1104-4721

2 GEOLOGISKT FORUM nr 55 / 2007

Geologiskt forum ges ut av Geologiska Föreningen i samarbete  
med föreningen för Geologins Dag och med ekonomiskt stöd från  
Sveriges geologiska undersökning, SGU. Tidningen ingår i det ordi-  
narie medlemskapet i Geologiska Föreningen. En helårsprenumera-  
tion på Geologiskt forum utan medlemskap kostar 160 kronor/år.  
Ange namn, adress och e-postadress, vid betalning  
till vårt Plusgiro: 2108-9.

Tidningen har sedan starten 1994 publicerat populärvetenskapliga  
artiklar inom geovetenskapens alla områden. Tidningen informerar  
Dig om aktuella händelser, litteratur och personer med anknytning  
till ämnet. Tidningen vill även vara ett forum för åsikter och debatt.  
Mer information på [www.geologiskaforeningen.se](http://www.geologiskaforeningen.se)

Varmt välkommen att kontakta tidningens redaktör Anna  
Kim-Andersson om du vill medverka i Geologiskt forum – hör av  
dig innan du sänder ditt manuskript. Författarna svarar själva för  
innehållet i sina artiklar. Nästa nummer av Geologiskt forum  
kommer ut i början av december.

Geologiska Föreningen  
18 71



# Geologi på distans

En webbanpassad utbildning. Numera går det att läsa grundläggande geologi vid universitetet, helt på distans.

**Studenterna läser** i sin egen takt. Lektionerna ligger på nätet och deltagarna svarar interaktivt på frågor efter varje genomförd lektion. I undervisningen ingår både kurslitteratur att läsa och animerade föreläsningar.

– I kursen Livets utveckling ingår även en exkursion under en långhelg om våren, berättar Otto Hermelin, studierektor för orienterings- och distanskurser vid Institutionen för geologi och geokemi vid Stockholms universitet.

För närvarande är det fyra

kurser som går att läsa på distans. Geologi för nybörjare 7,5 hp. Livets utveckling 7,5 hp, Dinosaurier 7,5 hp och Tellus 30 hp.

– Grundkursen Tellus har 20 till 30 studenter varje år. Många som går utbildningen är lärare, de gör det som en del av sin fortbildning. I kursutvärderingarna har vi genomgående fått höga betyg, säger Otto Hermelin.

Mer att läsa på [www.geo.su.se/geology/distans-kurser/](http://www.geo.su.se/geology/distans-kurser/)

Annonss

## Geologins Dag

på Naturhistoriska riksmuseet

Lördag 15 september kl. 11.00-16.00



- *Grottor – Jordens dolda världar.* Specialvisning på Cosmonova.
- *Tidståget.* Geoteater för barn 5-9 år.
- Barnaktiviteter i Skaparverkstaden kl. 12-16.
- Vulkanutbrott utanför museet.
- *Jordens berg.* Invigning av Claes Grundstens foto-utställning.
- *2 miljarder år på 60 minuter.* Exkursion i Frescati.
- Föredrag med fri entré om berg, källor och vulkaner.
- Visning av museets utställningar: *Skatter från jordens inre* och *4 ½ miljarder år.*
- Museets egna geologer berättar om sin forskning.
- "Dr. Sten" och "Dr. Ben" undersöker allmänhetens medhavda stenar och fossil.
- Guldvaskning med Svenska Guldvaskeföreningen.
- Tipsrunda och bildspel om geologi.
- Många spännande utställare på plats.

Läs mer: [www.nrm.se](http://www.nrm.se)

Naturhistoriska riksmuseet  
Frescativägen 40 Tel: 08-519 540 40  
T-bana Universitetet eller buss 40/540



Naturhistoriska  
riksmuseet

Om att ta sig fram i en skön ny värld

F rån och med 1 januari i år är vårt grannland Danmark organiserat på ett helt nytt sätt. Det handlar om genomgripande förändringar. 271 kommuner har blivit 98. Fem storregioner har ersatt de tidigare amtskommunerna. Sjukvården lyder under storregionerna. Gymnasieskolans nya huvudman är staten. På universitetsnivå har flera sammanslagningar skett. Danmark har skapat tre storuniversitet och de tillhör Europas resursstarkaste lärosäten.

I Sverige finns inte samförstånd kring en liknande samhällsomdaning. Men tillträdande universitetskanslern Anders Flodström meddelade i augusti att han ansåg att Sverige borde satsa på fem universitet istället för dagens 14. Lärosäten inom fem geografiska områden skulle slås ihop för att skapa stordriftsfördelar och koncentrera forskningsresurserna. Vilken storm detta väckte! Numera har Flodström mildrat delar av innebörden i sitt uttalande, som ett resultat av trampade tår. En ganska absurd situation, egentligen.

Sverige är verkligen ett lagomland där många hellre ska ha det ljummet än att några ska få sticka ut som spjutspetsar. Men varför sätta rammar för nytänkandet? Nej, bort med revirhävande och lokalpolitik. Satsa på svensk forskning och utbildning med rörlighet och kvalitet i fokus. Vi lever i en global värld och behöver fokusera materiellt och intellektuellt för att stå rustade i den nya verklighet som inte bara tonar fram, utan är här och nu. Ett exempel: I maj etablerade sig Syddanska universitetet som det första i Norden med eget campus i den virtuella världen Second Life. Deras första virtuella konferens har redan gått av stapeln.



/ Anna Kim-Andersson,  
populärvetenskaplig redaktör

# När himmel möter jord



*Inte ett sandkorn, men Hammarmossen en stilla stund. Foto: Dag Fredriksson.*

*"To see a world in a grain of sand, and a heaven in a wild flower.  
Hold eternity in the palm of your hand, and infinity in an hour."*

Konstnären och poeten William Blake, 1757–1827, lyckades i några numera klassiska strofer, med metaforernas hjälp väva in ett litet uns av geologi i en helhet, där nuets närhet förenats med evighetens vingslag.

Osökt leder orden tanken till strandens miljarder korn, och över dem – himlen och stjärnorna. Geologin har fått huvudrollen i ett par poetiska rader som minner om underverk. Ja, vi bor på Jorden, ett faktum lika påtagligt som Blake's sandkorn på stranden. Denna Jord ingår i ett solsystem, som ligger i en spiralarm i utkanten av galaxen Vintergatan. Det är 27 000 ljusår till Vintergatans centrum. Den som färdas med ljusets hastighet, 300 000 kilometer per sekund, måste med andra ord resa i 27 000 år för att komma dit. I galaxen, som är relativt stor, finns det cirka 300 miljarder stjärnor (och "vår" sol är en av dem). I det universum som människan hittills kunnat observera – rymts 100 miljarder galaxer. Wow!

Men om astronomi visste inte William Blake särskilt mycket, när han skrev sin dikt. Den moderna synen på Vintergatan liksom exempelvis teorin om universums skapelse: Big Bang, växte fram i början av 1900-talet. Kunskapen om sandkornet, geologin, är också en ung vetenskap, i princip formad från 1800-talet och framåt. Kanske visste Blake något mer om blomman... vetenskapsmän som Carl von Linné hade ju ändå hunnit vara verksamma på Blake's tid, även om det var några år kvar till Charles Darwin och den revolutionerande evolutionsteorin som fick sitt genombrott i och med publiceringen av Darwin's *On the Origin of Species*, 1858. Sammantaget får man ändå lov att konstatera, att trots att Blake inte visste så mycket, så visste han massor. Han såg evigheten.

Vad ser du i sandens korn?

/ Anna Kim-Andersson



## Förstenad skog funnen

I kontakten mellan en skiffer och underliggande kollager har forskare nu hittat en jättelik förstenad skog i Illinois, USA.

“Översvämning. Pang. Begravd.” Så beskriver forskaren Bill Di Michelle, från *the Smithsonian's National Museum of Natural History*, den händelse som inträffade för 307 miljoner år sedan som ledde till att skogen inom ett 1 000 hektar stort träskområde dog och så småningom förstenades.

Det var gruvarbetare som för en tid sedan hittade de första förstenade trädstammarna i taket på en gruva i den amerikanska delstaten. Träden är mycket väl bevarade, rentav finns fossila löv kvar på grenarna. Gruvfyndet avslöjade ett av de till ytan största fossila skogsområden som vetenskapen hittills känner till. Översvämningen som ledde till skogens död, var av katastrofala mått, möjligtvis orsakad av en jordbävning längs en närliggande förkastning. Artikeln om den förstenade skogen publicerades i tidskriften *Geology*, maj 2007 och uppmärksammades i *GeoTimes*.

## Rättelse om Linné

Författaren till artikeln om Carl von Linné som geolog, publicerad i förra numret av *Geologiskt forum*, har bett om att få införa en rättelse. Det gäller sidan 14, högra spalten, nedre delen. Efter meningen "...ville han hitta en sedimentär bergart som underlagrar sandstenen." ska tankebanorna och argumenten vara enligt följande: *Hans ståndpunkt om sandstenen till trots, kunde Linné ändå finna gränser för rim och reson inom geologin: Tidigare vetenskapsmäns åsikter om att jordens inre består av sand, att bergen underlagras av sand och att detta förr eller senare skulle visas för människorna "då man i grufvorna kommit neder till bergets slut", kunde Linné avfärda som spekulativa gissningar. I och för sig hade han ju själv konstaterat sandstensens understa position, och visserligen visste han att havsbottnarna (bevisligen lägre än bergen) var täckta av sand, men, skrev Linné, det är ett påstående "som lemnas i sitt värde".*

# Att handskas med vulkanen Vesuvius

Den farligaste vulkanen i Europa bedöms vara italienska Vesuvius, vars krater ligger bara åtta kilometer från Neapels tätbebyggda förorter.

**Vesuvius övervakas** ständigt. Vulkanen bedöms som Europas farligaste av flera anledningar: Intensiteten i tidigare utbrott har varit förödande, samtidigt är området runt vulkanen mycket tätbefolkat. Endast de äldre kommer nu ihåg den senaste eruptionen 1944. Buskar växer fram ur den gamla lavan och bostäder byggs allt högre upp på berget. Detta har gjort att många människor i Neapel och runt om i Campaniaprovinns tror att vulkanen sloknat.

Men italienska vulkanologer befarar att Vesuvius nästa utbrott kommer bli det kraftigaste sedan 1631, då 4 000 personer miste livet. Förhoppningen är dock att övervakningen med hjälp av seismiska registreringar och geodetisk information, ska göra att geologerna kan förutspå nästa utbrott – två till tre veckor i förväg.

**Vesuvius krater ligger** endast åtta kilometer från Neapels tätbebyggda

förorter. 1991 utsåg Dipartimento della Protezione Civile (avdelningen för civilskydd) en kommission som skulle utvärdera riskerna med vulkanen. Kommissionen samlade information, utvärderade riskerna och gjorde strategiska planer för för en evakuering vid ett framtida utbrott.

1995 publicerade Volcanology Group, GNV, ett väntat utbrotts-scenario där riktlinjerna för arbetet baserades på händelserna vid 1631 års utbrott. GNV definierade tre riskzoner:

1. Den röda zonen är den mest riskutsatta. Här bor cirka 600 000 invånare i 18 kommuner. Vid utbrottet 1631 totalförstördes cirka 20 procent av den röda zonen.
2. Den gula zonen består av cirka 96 kommuner och 1,1 miljoner invånare. Vid utbrottet 1631 skadades området till stor del av aska, pimpsten och lerflöden.
3. Den blåa zonen är belägen på vulkanens norra flank och omfattar 14 kommuner. Översvämningar och lerflöden drabbade området 1631.

**I arbetet med att** ta fram beredskapsplaner för en nödevakuering har många olika samhällsfunktioner involverats. I oktober 2006 genomfördes en övningsevakuering med över 2 000 deltagare. Utvärdering



visade att trots allt planerande, kommer det blir svårt att på kort tid evakuera de 600 000 invånarna i de små och trånga byarna i den röda zonen. Polis och soldater måste få ut 80 000 invånare per dag med båt, tåg och bilar. En logistisk mardröm, särskilt med tanke på att många invånare förväntas ignorera myndigheterna och göra upp egna flyktplaner, vilket förvärrar inte minst trafiksituationen. Och trots all information som gått ut till invånarna nära Vesuvius är det fortfarande vanligt med missförstånd. Attityden mot evakueringsplanen och mycket annat är färgat av det förflutna, folket känner generellt misstro mot myndigheterna. I Neapels förorter råder hög kriminalitet, arbetslöshet, korruption och fattigdom. Ett eventuellt vulkanutbrott ses som ett avlägset problem. Ofta betraktas Vesuvius som en maskot för området, snarare än ett hot. Tillsammans skapar detta en låt-gå-attityd hos folket, som trots det snart kan vara offer för en aggressiv vulkan.

**Det har gjorts många** försök att minska populationen i den röda zonen. År 2003 erbjöds utvalda familjer 25 000 euro (senare höjt till 30 000) för att flytta. De första två åren nappade 6 000 familjer på erbjudandet. Dock räknar myndigheterna med att ett hundratal nya familjer flyttat in till den röda zonen sedan dess. Över lag har beredskapsplaneringen fått stor kritik för sin ineffektivitet. Frågan är i vilken grad en evakuering kommer att kunna ske? Problemen är värst i Campaniaområdet, ett bostadsområde som växt fram på

vulkanens södra sida. Här bor det dubbelt så många människor idag, jämfört med 1944. Invånarna bor i små, billiga bostäder, ofta svartbyggen som ej följer byggreglementen. Under senare årtionden har även nya hus byggts illegalt mycket långt upp på vulkanens sidor

Europa håller andan i väntan på att vulkanen änyo vaknar: Trots lokala svårigheter måste Neapelbornas beredskapsplaner

fungera när de behövs, annars kommer i alla fall de 600 000 personerna i den röda zonen att vara i stor fara.

*I Detta är en bearbetad artikel, ursprungligen skriven av geografen och vulkanexperten Alwyn Scarth, publicerad i European Geologiskt, juni 2007. Bearbetningen är gjord av Sara Johansson.*

## NÄR SKER VESUVIUS NÄSTA UTBROTT?

Många statistiska metoder har använts för att analysera händelseförloppen och intervallerna mellan Vesuvius utbrott. Olika modeller förutsäger olika tidpunkter för när Vesuvius nästa utbrott kommer att inträffa. Någon gång mellan år 2031 och 2064, säger en modell. En annan baserad på kumulativ energi sedan 1631 visar att Vesuvius eruption bör ske år 2023. Många fler årtal förekommer i diskussionerna. Gemensamt är att de flesta tycks förutse någon form av rejält utbrott, de närmaste 50 åren.



Vesuvius är en stratovulkan belägen tio kilometer söder om Neapels centrum. Vulkanen når 1 277 meter över havet och har haft ett flertal stora utbrott. Bland annat det som begrävde Pompeji år 70 e kr. Det senaste utbrottet var 1944.

Foto: Alwyn Scarth.

Annons

The 33<sup>rd</sup>  
INTERNATIONAL  
GEOLOGICAL  
CONGRESS  
OSLO 2008  
6-14 August

SECOND CIRCULAR

For updates visit [www.33igc.org](http://www.33igc.org)

# Högtryck i ballastbranschen

Bergmaterialproduktionen i Sverige är numera cirka 90 miljoner ton per år.

**Värdet av detta** motsvarar ungefär den svenska järnmalmsproduktionen, sade Lars Hultkvist, dåvarande VD för Sveriges Bergmaterialindustri, SBMI, i en intervju för TT, tidigare i år.

Efterfrågan på bergmaterial, främst bergkross men även grus, är just nu den högsta på över tio år, som resultat av en stark byggkonjunktur. Och marknaden förväntas hålla i sig 2007 och 2008.

Regeringen har också givit Sveriges geologiska undersökning i uppdrag att genomföra ett utvecklingsprogram för industrimineral-, ballast- och stenindustrierna. Regeringen satsar 26 miljoner kronor under förutsättning att industrin skjuter till minst lika

mycket, med andra ord en total satsning på minst 52 miljoner kronor under åren 2007–2010.

– Det är ett erkännande av bergmaterialindustrins samt industrimineral- och stenindustriernas betydelse för samhället och det arbete som forskare och anställda i branscherna gjort under det förra MinBaS-programmet, säger Per Murén, NCC Roads, som är ordförande i styrelsen för MinBaS AB, som drev utvecklingsprogrammet för Mineral-Ballast-Sten, 2003–2005.



Geologiskt forums stödprenumeranter:



**Emmaboda Granit**

Emmaboda Granit AB är ett av Sveriges och Skandinaviens ledande stenföretag med 100 års erfarenhet inom blocksten, stenprodukter och gravvårdar.  
[www.emmabodagranit.se](http://www.emmabodagranit.se)

**NEW BOLIDEN**

Boliden producerar metaller som får det moderna samhället att fungera.  
[www.boliden.se](http://www.boliden.se)



Föreningen för Geologins Dag.  
[www.geologinsdag.nu](http://www.geologinsdag.nu)

**URS**

Världens ledande miljökonsult.  
[www.ursnordic.com/www.urscorp.com](http://www.ursnordic.com/www.urscorp.com)



**GeoPro**

Täktkonsulter verksamma inom täkt, mark, miljö, vatten.  
[www.geopro.se](http://www.geopro.se)



# Skakande upplevelser

Slättborna på båda sidor av Hallandsåsen upplevde i februari 1966 en skräckfylld vinternatt. Tidningarna beskrev händelsen dramatiskt. Detta sades vara en jordbävning – men så var inte fallet.

TEXT OCH FOTO Harald Svensson

**A**propå att vi firar Carl von Linnés jubileum i år, vaknar ett minne från 1966. I en artikel i Arbetet den 2 mars 1966 beskrev en lantbrukare i Munka Ljungby hur ett antal sprickor i marken bildats: "... vaknade vi av ett fruktansvärt dån, som jag först trodde berodde på att värmepannan exploderat. Alla dörrar slogs upp och hela huset skakade till." I tidningsartikeln meddelas vidare, att en berggrundsgeolog ger händelsen en tektonisk förklaring, såsom lyftningar i berget vid Hallandsåsen.

Också på slätten norr om Hallandsåsen, vid Edenberga, hade många lantbrukare väckts den aktuella natten. Sprickorna som uppstod var långa, upp till 100 meter, vittnade människor om. I en by, Kärr (vid Hasslöv) beskrevs livligt, hur stolar, sängar och en oljekamin hoppat och dansat på golvet. Sprickorna i jorden uppmärksammades främst på gårdsplaner eller invid vägar, men förekom även över stora ytor i de odlade fälten. Under den följande vårtorken framträdde sprickorna allt tydligare i fälten. De skakande upplevelserna tillsammans med lokaltidningarnas rubriker gav en helt naturlig anledning för slättens folk att tro, att man upplevt en jordbävning.

**S**å åter till Linné. I sin Västgötaresa skriver han från besöket i Lidköping den 24 juni 1746.

"Torget i nya Staden war det anseeligaste i Riket.... År 1736 slog en springa sig ifrån sjösidan, eller torgets nordöstra kant twert öfver torget til dess södra sida. Denna springa war wid pass et par tumm bred... Många trodde, at detta warit af någon jordbäfning förorsakadt; men likare tyckes, at denna

springa kommit af kölden, emedan det skedde om vinteren." Så enkelt var det för Linné! Han avvisade direkt alternativet jordbävning, vilket ett par hundra år senare vållade så stor oro och undran hos folket vid Hallandsåsen

**D**en som gör en återblick på väderleken i februari 1966 noterar att det var kallt, liksom vid händelsen 1746. Efter töväder i början av februari hade det mesta av snötäcket smält. På grund av tjälen kunde smältvattnet inte sjunka ner i jorden. När kylan kom, var ytlagren därför mycket vattenhaltiga. Ett extremt kraftigt kallluftsinsbrott från nordost natten till den 7 februari medförde en kraftig och hastig temperatursänkning. Hos flygmeteorologerna i Ängelholm och Halmstad, där lufttemperaturen rutinmässigt avlästes varje timme, föll temperaturen som mest med 3,2 grader per timme till som lägst -18,2 grader. På slätterna innanför sannolikt ännu lägre. Det var då spänningar i jordytan uppstod och sprickorna bildades.

I högarktiska områden med permafrost är denna typ av sprickbildning ett årligt återkommande fenomen, väl känt av folk, som övervintrar där och i litteraturen lika dramatiskt beskrivet som nyss nämnda händelser. Med tiden leder sprickbildningen i Arktis till uppkomsten av utbredda nät av så kallade iskilspolygoner. (I Geologiskt forum 52, 2006 beskrivs fossila spår av arktiska polygonmönster på Laholmsslätten). Händelsen i februari 1966 kan således tjäna som en illustration till, hur polygonmönster vid kraftig avkylning av markytan kan börja anläggas i tjälad mark. Det glaciälviala, under landhöjningen marint bearbetade, jordartsmaterialet på slätterna vid Hallandsåsen – verkar vara lämpligt att ta emot och registrera detta frostfenomen.

---

HARALD SVENSSON professor emeritus i geomorfologi, Köpenhamns universitet.

*Sprickor i marken uppstod vid Hallandsåsen vintern 1966 och tidningarna var entydiga – man ansåg att detta handlade om jordbävning, vilket dock var fel. Fotot är från Våxtorp, april 1966. Mer om "jordskalven" vid Hallandsåsen 1966 finns att läsa i GFF Vol. 89 (1967) sid. 151-180. En ytterligare händelse från 1987 är beskriven i Norsk Geografisk Tidsskrift Vol. 42 (1989) sid. 271-277.*



# Jordens energi

## – ödesfråga, framtidsfråga

Energifrågan är en ödesfråga för mänskligheten: Hur kan vi samtidigt utvinna och värna om jordens resurser? Hur förvaltar och fördelar vi råvarorna och deras produkter? Kan vi tänka i nya banor när det gäller att hitta nya energislag? Går det att utveckla befintliga tekniker för utvinning – men även gällande efterbehandling av mark och vattendrag i utvinningens spår? Kan energi långtidslagras?

Geovetenskaperna bidrar med kunskap till en mängd viktiga framtidsfrågor där energin är gemensam nämnare. I denna artikel får du en översikt över energins produktion och konsumtion i världen.

TEXT ULLA SUNDIN-BECK

**En vanlig sommardag** i massmedierna år 2007:

- Vindkraft - en park med 200 turbiner på Nordsjön planeras utom synhåll från land. Den skulle kunna stå klar 2014.
- Bensinransonering i Iran och bensinstationer bränns ner.
- Första nya kärnkraftverket i Storbritannien på tjugio år förbereds nu.
- Gazprom vill bygga 900 kilometer gasledning mellan Ryssland och södra Europa.
- Världens största vattenkraftverk Grand Inga är planerat i Congofloden. Den oroliga politiska situationen har hittills hindrat investerare. Kostnaderna för en utbyggnad beräknas till 500 miljarder kronor.

Energi är ett enormt ämnesområde och siffrorna, när man ska exemplifiera, blir därefter. Ett enkelt kommersiellt fall: British Petroleum hade förra året drygt 1,2 miljoner aktieägare, 97 000 anställda, 24 600 servicestationer och 18 raffinaderier, allt i 26 länder.

Bakom raffinaderiernas produktion ligger geologiska såväl som tekniska och marknadsekonomiska kunskaper om var och hur man bör borra för att på ett rationellt och lönsamt sätt få upp råoljan. Med det perspektivet är det lätt att förstå den stora betydelse som geologin har, både som råvara och som kunskapsämne – för världshändelserna, även om det inte alltid verkar så vid första anblicken. Ja, geovetenskap kan tyckas vara ett fredligt ämnesområde utan större relevans för krigiska och ekonomiska konflikter. Men så är det ju inte.

**Mycket som rör energi** handlar om fossila bränslen.

Kol, olja och naturgas stod för fem år sedan för cirka 80 procent av världens energi. Kol har stor betydelse på de lokala marknaderna i till exempel Kina, men absolut inte bara där. Dock – i centrum för västvärldens intresse står inte kolet, utan oljekällorna, som de flesta ligger alldeles fel, sett ur västs synvinkel. Västvärldens styrka må vara makten över energiproduktionen genom de stora oljebolagen, men två tredjedelar av jordens beräknade oljereserv finns i de politiskt heta områdena i Mellanöstern – Irak och Saudiarabien. När detta skrivs diskuteras nyheten om en eventuell oljefyndighet utanför Gotland. I ett globalt perspektiv är varken nyheten eller fyndet särskilt stort. Men kanske kan svensk energiförsörjning ändå få ett tillskott?

Frågan om nya fynd är för övrigt intressant. Hur mycket olja finns kvar att utvinna ur vår Jord? Oljan har egentligen varit billig under en lång tid, men kommer det att förbli så? Kommer någon att kräva mer betalt, kommer någon att skruva åt kranen? Och räcker oljan hur länge som helst? Oavsett svaren gör frågorna att satsningarna på andra energislag blir intressanta. Och också här, vid prospektering och utveckling av förnybar energi och bedömning av olika energikällors miljöpåverkan, har geovetenskapen en viktig roll. Specialkunskaper krävs om geoförhållanden vid lokalisering av vindkraft, vattenkraft, produktion av biobränsle eller vid koldioxidlagring i berg, för att bara nämna några exempel.

**Geovetenskap är också en rättvisefråga.** Inte minst oljan konsumeras ojämnt fördelat mellan världens

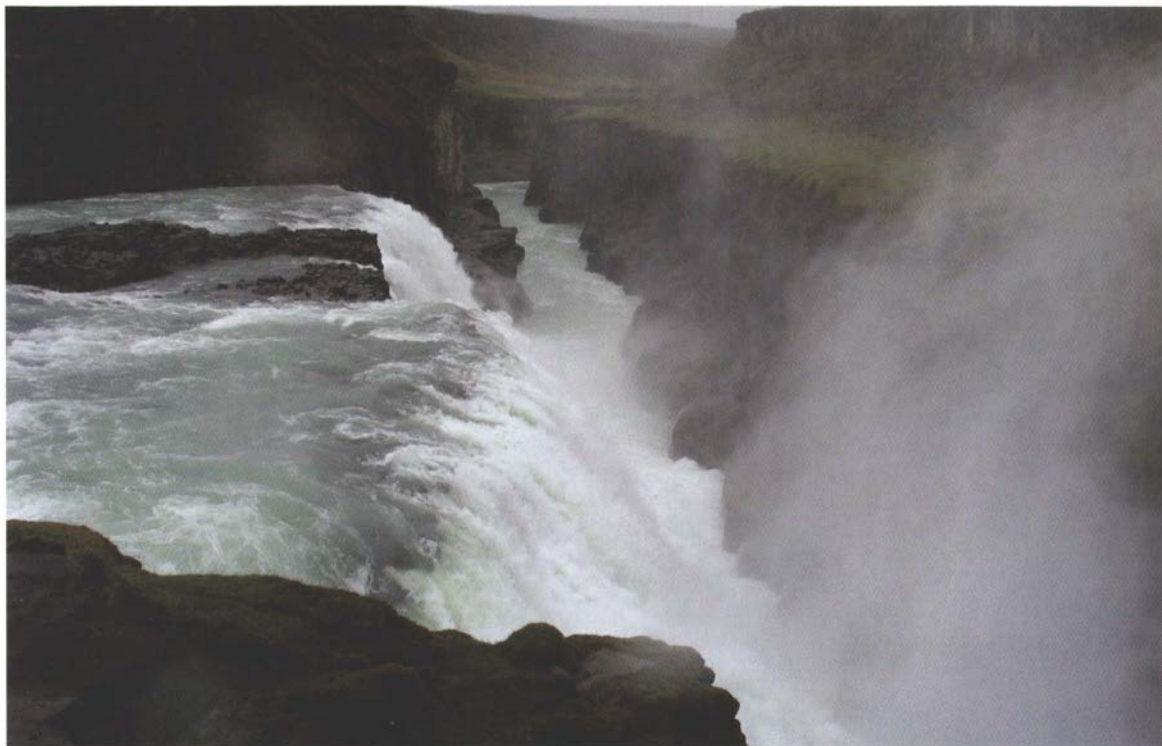


FOTO: MARK JOHNSON

*Uran eller förnybara energikällor i alla ära. Världens energiproduktion utgörs till största delen av fossila bränslen – och oljan dominerar som bränsle. Totalt i världen beräknas alla förnybara energikällor, inklusive vindkraft och exempelvis vattenkraft, tillsammans stå för mindre än 13 procent. Dock bör man komma ihåg att definitionen av förnybar inte är densamma i alla beräkningssammanhang.*

länder. Det handlar om mellan 1,5 och 2,25 ton per capita i exempelvis Västeuropas länder och Japan. I USA, Kanada, Beneluxländerna och de oljeproducerande arabländerna går det åt tre ton per capita och år. USA konsumerar ensamt en fjärdedel av världens producerade olja och fyrtio procent av bensinen. Också i Sverige är oljeberoendet stort, även om vi importerar den mesta oljan från närliggande länder som Norge, Danmark och Ryssland.

Att bryta oljeberoendet och minska samhällets användandet av fossila bränslen är ett stort och viktigt mål för många länder idag. Man vill minska sårbarheten, men framför allt reducera växthuseffekten. Kanske kan en del av koldioxidutsläppen från förbränningen av fossila bränslen lagras i berggrunden. Även här vilar kunskapen om den möjlighetens för- och nackdelar på geovetarnas axlar. Stora pengar är inblandade – som vanligt när det gäller energifrågor. Inte minst spelar den internationella handeln med utsläppsrätter en viktig roll.

**I Sverige förbrukades** totalt 630 TWh energi år 2005. Oljan stod för 197 TWh, kärnkraften 210 TWh och biomassa samt torv för 112 TWh av totalt tillförda 630 TWh, år 2005. Den direkta energianvändningen fördelade sig så här: Industrin förbrukade 156 TWh, bostäder och service 145 TWh medan inrikes och

utrikes transporter stod för en fjärdedel av den totala energianvändningen i Sverige, vilket gör cirka 101 TWh. Siffran för transportsektorn är en ökning med 79 procent sedan år 1970, och det är sammantaget transporterna som står för den största oljekonsumtionen.

Enligt nyss nämnda siffror är biobränslen och torv den tredje största energikällan i Sverige. Biobränslen används framförallt för att producera fjärrvärme och för uppvärmning av bostäder, en stor energislukare i det svenska klimatet. Cirka en miljon ton aska per år i Sverige är resultatet av biobränsleanvändningen. Också ett sådant faktum ställer krav på geologisk sakkunskap när man bedömer var askorna ska hamna till slut.

**Varifrån Jordens befolkning** hämtar sin energi varierar stort mellan olika geografiska regioner. Medan oljekällorna är koncentrerade till vissa områden på Jorden, finns uran i alla världsdelar. I Sverige finns enligt SGU kanske knappt en procent av Jordens urantillgångar. Andra källor redovisar siffror som är betydligt större. Procentandelen varierar beroende på hur man räknar. Sverige producerar dock per capita mest kärnkraftsenergi i världen, Frankrike kommer på andra plats. Frankrike har å andra sidan täckt sitt elbehov till 80 procent med kärnkraft, medan Sveriges elektricitet till hälften kommer från kärnkraft.



På tredje plats i denna världsstatistik ligger Ukraina med 48 procent.

**Internationella jämförelser ger** perspektiv och tankar. Vindkraften är ett energislag som ofta omtalas. Västeuropa har cirka 60 procent av världens samlade vindkraftskapacitet, Tyskland och Spanien är de stora producenterna. Danmark får cirka 15 procent av sin el från vindkraft, danskarna har satsat på lokala, mindre vindkraftverk för små grupper av fastigheter medan andra länder och områden, så som exempelvis Kalifornien, satsat på stora parker. I Sverige har opinionen mot synliga och eventuellt miljöstörande vindkraftsparker emellanåt varit stor. Som läsaren märker är energifrågan svårhanterlig och känslig ur många aspekter. Noggranna avvägningar krävs. Både etiska, estetiska och sakliga argument väger in. Geovetenskaperna kan stå för fakta bakom argument av alla dessa slag. Dessutom skulle ökade kunskaper bland allmänhet och politiker om Jorden (läs geovetenskap) också innebära en satsning på forskning och utveckling av energiutvinning med andra perspektiv än de vi har idag. Solinstrålningens möjligheter skulle kanske hamna mer i centrum, för att ta ett strålande exempel. Möjligheten att långtidslagra energi, likaså.

**Helt uppenbart är** energinyheter stora nyheter av flera skäl. Satsningarna är ofta storleksmässigt och ekonomiskt enorma, påverkan på miljön är också stor. Det stora oljeberoendet är just nu ett problem för den rika delen av världen. Samtidigt är det paradoxalt nog en helt annan fråga som är brännpunkten för flest antal människor på vårt klot – bristen på brännved för den daglig matlagningen är det stora energiproblemet. Så kommer det förhoppningsvis inte att förbli.

Just nu driver energi- och råvaruefterfrågan i Kinas och Indiens växande jätteekonomier alla världens börskurvor. OECD-länderna har sedan 1973 minskat sin andel av världens energianvändning från 62 procent till 50 procent, medan Kina och Asien har fördubblat sin andel. Men några besparingar handlar det knappast om globalt sett – de senaste trettio åren har världens totala energianvändning fördubblats...

Det är bara att dra slutsatsen: I det fantastiska energisystem som Jorden ingår i, har geovetenskapen en nyckelroll, oavsett om perspektivet är prospektering och utvinning, miljövård eller resurshantering. Ja, i de fortsatta diskussionerna om olika energislag och världens framtid ger geovetenskaperna det faktaunderlag som alla olika åsiktsföreträdare behöver som stöd. Debatten om hur vi löser framtidens energi må fortsätta!

*Källor: British Petroleum, ÅF Miljö- och energifakta, Sveriges geologiska undersökning, Energimyndigheten, Boken Energi – möjligheter och dilemman, se sid 13.*

ULLA SUNDIN BECK frilansjournalist.



FOTO: BERNE LUNDKVIST



FOTO: THOMAS TOLSTRUP



FOTO: EON

## ENERGIFRÅGAN:

# Vad finns det för problem och möjligheter – och hur ser du på geovetenskapens roll?

**Marian Radetzki, professor i nationalekonomi, Luleå tekniska universitet, samt samhällsdebattör, med åsikten bland annat att Jordens oljetillgångar kommer att räcka länge än (vilket kan jämföras med artikeln om "Peak Oil", sid 14-15).**

– De två stora problemen inom energiområdet är den politiska situationen när det gäller oljan och miljöbekymren. Men det jag ser som framtidsmöjligheter är att resursbasen för fossila bränslen är mycket god och att det sker en teknisk utveckling på alla fronter. Om åtta till tio år kommer vi att märka effekterna av denna utveckling.

Exempel på detta är att prospekteringen ökar, och bilmotorerna och energiomvandlingen blir effektivare. Incitamentet är de höga priserna. Om man ser tillbaka tre till fyra decennier förstår man vilken roll geovetenskaperna har spelat för att öka förståelsen för basen för energin.

**Lena Neij, professor vid Internationella miljöinstitutet i Lund, IIIEE.**

– Ett problem är att det tar oss så lång tid att göra förändringar i komplexa system. Vi har tekniska lösningar men för att få dem att fungera krävs investeringar. Vindkraften tar tid, företag vill sälja naturgas, och innan vi förstår de investeringar som krävs i till exempel våra hus har det tagit lång tid. En särskild möjlighet för Sverige anser jag är bioenergin. Här finns en stor potential. En annan möjlighet för oss är att se

över hur vi använder energin inom bostadssektorn, där vi gör stora energiförluster. Effektivare energianvändning får vi genom exempelvis förbättrad isolering. Geovetenskaperna har självklart en stor betydelse, inte minst i undervisningen för att vi ska förstå sambanden mellan resursanvändning och klimatförändring. Det är en viktig kunskap att bära med sig i samhället.

**Lars J Nilsson, professor i miljö- och energisystem, Tekniska högskolan vid Lunds universitet.**

– Jag ser tre mycket olika problem: Det billiga kolet som ger problem med klimateffekten, kärnkraftens utveckling och koncentrationen av oljeresurserna till Mellanöstern. Men möjligheterna är de förnybara energikällorna. Det är en missuppfattning, anser jag, att de bara skulle ge ett marginellt tillskott av den energi vi behöver. En annan möjlighet är en effektivare energianvändning. Lagringen av koldioxid är ytterligare en möjlighet inför

framtiden. Geovetenskaperna har självklart en viktig roll. Den svenska bergvärmen är en succé som kan täcka en rätt stor andel av uppvärmningsbehovet.



## Energi - möjligheter och dilemman

Politiker, näringsliv, allmänhet. Unga och gamla. För den som vill veta mer om energifrågan i dagens samhälle finns en ny bok i ämnet.

Ansatsen är vetenskaplig men inledningen desto mer jordnära. "Den elektriska väckarklockan ringde" ... läsaren får följa med en vanlig morgon hos en vanlig familj. Med enkla exempel från hem, arbete och fritid vill boken *Energi - Möjligheter och dilemman*, belysa energifrågan och dess komplexitet. Samtidigt är målet att ur ett vetenskapligt perspektiv sprida kunskap om energifrågor i ett större sammanhang. Politik, marknad och konsumtionsmönster berörs, såväl som grundläggande fysikaliska lagar och begrepp.

Ja, här finns ett kapitel om våra energikällor, men även kapitel som handlar om samhällets energiberoende, energifrågan i ett globalt perspektiv och möjliga framtida lösningar. Faktarutor reder ut krångliga begrepp.

Trots alla mängder av fakta presenteras i slutänden få generella svar. Istället får läsaren själv samla kunskap, begrunda och fundera vidare över de frågor som Jordens samhällen står inför. Nu, och inom en inte allt för avlägsen framtid. Läs!

*En bok utgiven av Kunliga Ingenjörsvetenskapsakademien, IVA 2007. Skriften är framtagen av IVA tillsammans med Kungliga Vetenskapsakademien, KVA. Antal sidor: 117.*



# Sinar oljan?

Fysikerna i *Uppsala Hydrocarbon Depletion Study Group* vid Uppsala universitet – har beräknat produktionen vid världens största oljefält. De anger inte när oljan sinar. Men de bedömer att Jordens oljeproduktion snart kommer att nå sin topp. Ty även om efterfrågan på olja är kraftigt ökande, är de stora nya fynden få. "Peak Oil" är nära.

TEXT Kjell Aleklett, Mikael Höök, Bengt Söderbergh  
FOTO Dawn Alyn

Dagens samhälle förbrukar stora mängder energi och det är en trend som bara ökar för varje år i takt med att nya delar av världen industrialiseras, får tillgång till elektricitet och höjer sin levnadsstandard. Över 80 procent av all energi i samhället kommer från fossila bränslen, det vill säga olja, kol och naturgas.

Transportsektorn är helt beroende av olja och 98 procent av dess energi kommer från olja. Den största delen av världens elektricitet genereras från fossila bränslen med kolet som största bidragande part (40 procent). Naturgasen är på frammarsch och rysk gas är på väg att få en dominerande ställning i Europas energisektor.

Dessutom används fossila bränslen inom en rad andra industrisektorer. Naturgas används för att skapa konstgödsel och råolja utgör en viktig del av plastindustrin. Cementproduktion kräver stora mängder kol liksom stålindustrin.

Det är allmänt känt och accepterat att fossila bränslen inte är förnyelsebara och att de en dag kommer att sina. Klimatfrågan har medfört att debatten domineras av utsläpp av koldioxid från fossila bränslen och att förbrukningen därför måste minska, medan frågan kring hur länge de fossila bränslena räcker, fått stå i skymundan. Dagens exponentiella konsumtionsökning av fossila bränslen kommer att brytas och under detta århundrade kommer vi att passera "Peak Oil", "Peak Gas" och "Peak Coal".

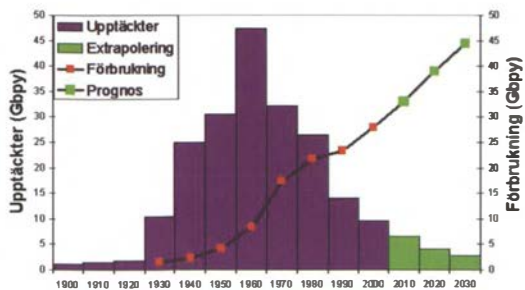
## "Peak Oil"

Olja har under miljontals år samlats upp i underjordiska reservoarer, och idag är det välkänt var på jorden det finns olja. Ungefär 75 procent av de resterande reserverna finns i Mellanöstern och norra Afrika. Den globala årliga konsumtionen är 30 miljarder fat, 1 fat är 159 liter. Det betyder att reserverna i till exempel Irak, ungefär 90 till 120 miljarder fat, motsvarar en global konsumtion på 3 till 4 år. Det finns ingen teknisk möjlighet att tömma reserverna under en så kort tid. Produktionen kommer att öka till ett maximum för att sedan långsamt minska. Tiden för maximal produktion benämns "Peak Oil" och Irak kommer liksom alla andra oljeproducerande länder att nå "Peak Oil".

Den totala mängden konsumerad råolja sedan början av 1900-talet är känd och låt oss runda av det till 1 000 miljarder fat. Det finns delade meningar om hur mycket det finns kvar, eller snarare hur mycket, av den olja som finns inbäddad i framförallt sandsten och kalksten, som kan utvinna. En studie av cirka 1 000 oljefält runt om i världen visar att den utvinningsbara mängden är cirka 30 procent. Ny teknik kan öka mängden till 40 procent men i Saudiarabien anses officiellt att 50 procent av oljan i marken kan produceras. Under alla omständigheter kommer den sista hälften av ett oljefält att produceras långsammare än den första hälften.

Det finns cirka 47 000 oljefält i världen. Några är tömda och några ska snart komma i produktion. Åren runt 1960 var oljeindustrins guldår och 48 miljarder fat råolja upptäcktes varje år fastän produktionen

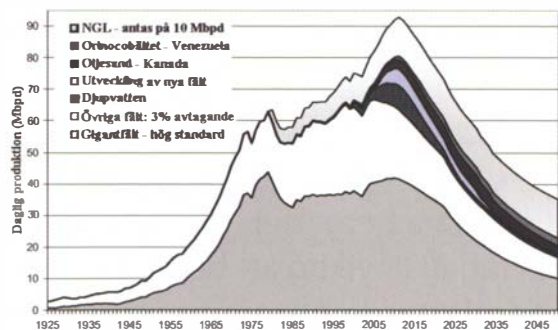




Figur 1. Historiska fyndigheter av olja och förväntade nya upptäckter. Enheten Gbpy betyder "miljarder fat per år."



Figur 2. Historisk och förväntad produktion av olja vid gigantiska oljefält. Enheten Mbpd betyder "miljoner fat per dag."



Figur 3. Total produktion av olja enligt scenariot "Giant High Case". Enheten Mbpd betyder "miljoner fat per dag."

bara var åtta miljarder fat om året. Från och med 1990 har vi hittat mindre olja än vad vi konsumerar och det börjar nu bli svårt att öka produktionen i samma takt som efterfrågan ökar. I Figur 1 visas medelvärdet av fyndigheterna var tionde år. Värdet för 1960 är medelvärdet för fyndigheterna från 1956 till 1965.

Genom att extrapolera trenden från de senaste 40 åren blir förväntade nya fyndigheter under de kommande 30 åren 140 miljarder fat olja. Det är dubbelt så mycket som hittats i Nordsjön – men långt från förväntat behov av 1 160 miljarder fat olja.

## Produktionen vid de största oljefälten

Uppsala Hydrocarbon Depletion Study Group, UHDSG, har i en avhandling av Fredrik Robelius framförtallt studerat de gigantiska oljefälten, det vill säga fält som kan producera mer än 500 miljarder fat olja.

Ungefär en procent av världens alla fält är giganter, men då det kommer till produktion så motsvarar de över 50 procent. Den globala oljeproduktionen kan delas in i följande fraktioner; gigantiska oljefält, övriga råoljeproducerande fält, olja från djupvattenfält, olja som ska produceras från nyligen hittade fält, tung olja från oljesand i Kanada och från Orinocofältet i Venezuela och till slut NGL, naturligt flytande gas. Produktionen från varje del kan studeras separat och världens totala möjliga produktion kan uppskattas.

Exakt hur mycket olja som ett fält kommer att producera är omöjligt att beräkna, men att bestämma en under och en övre gräns är helt möjligt. På samma sätt som produktionen från gigantfälten påverkar den ökade globala produktionen kommer den förväntade medgången också att domineras av gigantfälten. Avgörande för nedgången i produktionen är den totala mängden olja i fälten. Genom att göra olika antaganden baserad på den information som finns tillgänglig kan produktionen delas upp i olika scenarier. Det finns ett värsta fall och ett bästa fall. För att det bästa fallet ska bli möjligt krävs det att bland annat sju gigantfält i Irak inom en snar framtid kommer i produktion.

Vad som är kännetecknande för ett gigantfält är att när produktionen börjar minska så sker det i ganska snabb takt, åtta till 16 procent om året. De olika scenarierna finns beskrivna i Figur 2.

Den sammanlagda nedgången kan i dagsläget inte kompenseras med produktion från till exempel djupvattenfält och olja från oljesand och beroende på vilket scenario som blir verkligt kommer den globala maximala produktionen att ske någon gång mellan åren 2008 och 2018. Flera av de signaler som vi nu ser indikerar att det förmodligen blir i periodens första hälft. Produktion av olja från övriga sektorer tillsammans med "Gigantfält – hög standard" visas i Figur 3 och om detta blir verklighet när vi "Peak Oil" är 2011. International Energy Agency, IEA, anser att efterfrågan år 2030 kan vara så stor som 115 miljarder fat om dagen. Inget scenario visar att en sådan produktion är möjlig.

Gällande "Peak Gas" och "Peak Coal" är det svårare att fastställa tidpunkten för maximal produktion. Vad som är mer känt är den totala mängden som kan konsumeras och det är uppenbart att det inte finns möjligheter för en exponentiell ökning.

KJELL ALEKLETT, MIKAEL HÖÖK och BENGT SÖDERBERGH  
Uppsala Hydrocarbon Depletion Study Group, Uppsala universitet.

## REFERENSER

- Kjell Aleklett, 2005 ; *How much crude oil is there to discover in the future?* <http://www.peakoil.net/DiscoverGap.html>  
Fredrik Robelius, 2007; *Giant Oil Fields – The Highway to Oil*: <http://publications.uu.se/abstract.aspx?dbid=7625>  
International Energy Agency; *World Energy Outlook* 2006.



# Förkastningarnas hemligheter

Geologisk grundforskning avslöjar ibland fakta som kommer till direkt användning i praktisk verksamhet. Fault Facies är en ny metod för att förutsäga om förkastningar i sedimentära bergarter "läcker" eller inte. Frågan är viktig att besvara – inte minst vid utvinning av olja.

TEXT OCH BILDER Niclas Fredman

Oljereservoarer världen över är ofta påverkade av tektonisk aktivitet, vilket i mycket hög utsträckning påverkar både oljeproduktion och den tidigare migrationen av oljan ut från källbergarten och in i reservoarbergarten. Förkastningar påverkar huvudsakligen oljereservoarer på två sätt:

- De bildar strukturella oljefällor som i många fall är en förutsättning för att ekonomiska kvantiteter ska kunna ansamlas.
- Förkastningar kan även försvåra oljeproduktion genom att hindra olja/gas/vatten att strömma fritt genom reservoaren, och på så sätt skapa avskurna "fickor" med olja som blir kvar i reservoaren.

Större förkastningar (>15 meter) kan oftast ses via seismik, men seismiken visar vanligen ingenting om huruvida en förkastning läcker eller inte. När forskare representerar förkastningar i digitala modeller,

använder de sig vanligen av enkla tvådimensionella plan och ytor, vilket är en alltför enkel beskrivning av förkastningars påverkan på vätskeströmning. Detta har sitt ursprung i att när man började med digitala reservoarmodeller på allvar för 20-25 år sedan, var det framför allt sedimentära strukturer som man var intresserad av. Dessutom är majoriteten av alla oljegeologer sedimentologer, vilket säkert har bidragit till denna utveckling. Förkastningar kom i andra hand, och detta har levt kvar ända fram till idag, trots att det är känt faktum att förkastningar har stor påverkan på vätskeströmningen. Det finns alltså ett stort behov i oljeindustrin att öka förståelsen för hur förkastningar påverkar vätskeströmningen i oljereservoarer. Ett exempel; i takt med att allt mer olja pumpas upp ur en reservoar, sjunker trycket. Till slut blir trycket så lågt att ingen olja orkar upp till plattformen längre. Då är det vanligt att "trycksupport" sätts in, det vill säga att



Bild sida 20. Ett exempel på en tredimensionell reservoarmodell, som beskriver oljemättnings. Brunnarna används för att simulera hur oljan strömmar i reservoaren vid till exempel vatteninjektion, för att på så sätt hitta den optimala placeringen av brunnarna i verkligheten. Notera att förkastningarna är implementerade som tvådimensionella plan.

ytterligare ett hål borras i närheten av det första för att man genom injektion av havsvatten ska kunna höja trycket i reservoaren, och därmed öka utvinningsgraden. I förväg måste man dock veta säkert att förkastningen kommer att "läcka", och det är här som Fault Facies kommer in i bilden.

## Fault Facies som metod

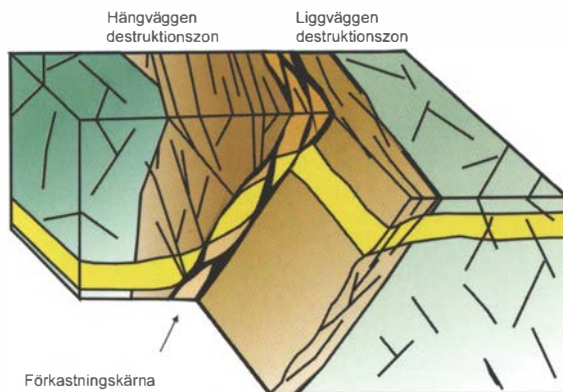
Fältstudier visar att förkastningar i naturen mycket sällan framträder som enkla tvådimensionella plan, utan som tredimensionella bergartsvolymer med komplexa arkitekturer och fördelningar av en mängd olika förkastningsbergarter. Det räcker alltså inte att veta förkastningens geometri, placering och offset för att veta om den läcker eller inte. Man måste kunna säga något om arkitekturen och de ingående förkastningsbergarterna också.

Att förkastningar är heterogena och komplexa i sin arkitektur är dock vida känt sedan länge, men faktum är att få försök har gjorts att egentligen kvantifiera problemet. Ett annat problem är att nuvarande mjukvara för reservoarmodellering (till exempel IRAP-RMS, Petrel) också hanterar förkastningar på ett mycket förenklat sätt, som tvådimensionella plan.

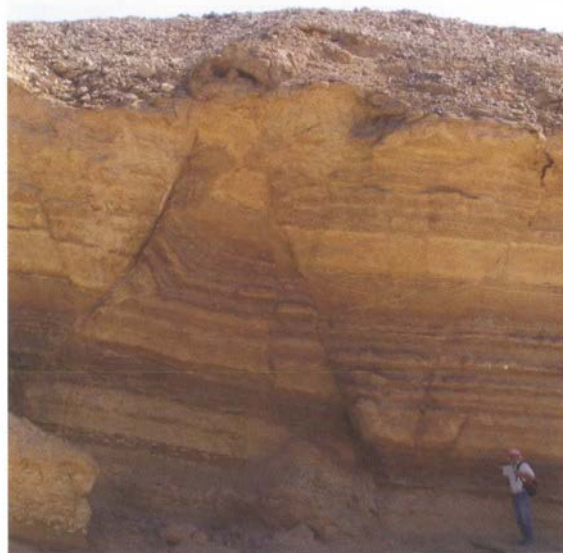
Fault Facies är en metod som bygger på beskrivningar av tektonisk deformation – de utförs på samma sätt som beskrivningar av sedimentära facies, ett begrepp som för övrigt har funnits i många år. Genom fältarbete och experiment försöker forskarna att se samband mellan tektonisk deformation, förkastningsarkitektur och nybildade förkastningsbergarter.

## Fältarbete i tre världsdelar

I första hand jobbar projektet Fault Facies (projektets organisation beskrivs närmare på sidan 23) med sandsten, eftersom de flesta oljereservoarer i Nordsjön finns i just sandstenar. Idén går ut på att observera förkastningar i fält, och försöka att svara på en mängd frågor för att kunna bygga upp en "deformationsdatabas" för en mängd relevanta bergarter och deformationsstilar: Vilka förkastningsbergarter har bildats? Vad har dessa förkastningsbergarter för petrofysiska (porositet, permeabilitet med mera) egenskaper, och vad betyder det för vätskeströmning? Vilka litologier ingår i den förkastade sekvensen? Hur bred är egentligen en förkastningskärna i förhållande till förkastningens totala offset? Finns det sprickor associerade med förkastningen, och i så fall, hur många? Är sandkornen krossade, eller bara deformerade? Vid vilket djup befann sig bergarten då den blev deformerad? Tryck/



En konceptuell bild över förkastningars uppbyggnad, med förkastningskärnan i centrum och omgivande destruktionszoner.

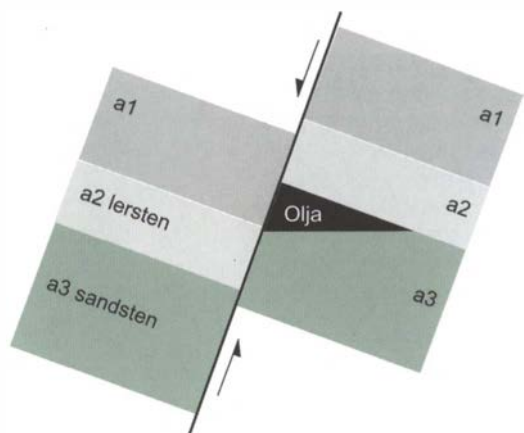


Förkastning i Sinai, Egypten.



Bartlett-förkastningen, Utah, USA.





Typisk strukturell fälla, där olja ansamlas under en ovanpåliggande tät lersten (a2), och emot en förkastning med förseglande förkastningsbergarter.

temperatur vid deformation? För att samla in dessa data bedriver Fault Facies projektet strukturgeologiskt fältarbete i ett flertal länder, bland annat i USA, Storbritannien, Norge, Egypten, Grekland och Spanien. Sinaihalvön i Egypten har visat sig vara särskilt lämplig att bedriva fältarbete på, då de sedimentära avsättningarna där påminner om reservoar bergarterna i Nordsjön. Avsättningarna i Sinai är av så kallade syn-rift typ, det vill säga de avsätts i en tektoniskt aktiv riftmiljö. Norska oljedirektoratet uppskattar att cirka 40 procent av kvarvarande reserver i Nordsjön är av syn-rift typ, därför tror man att den typen av deformation finns i Sinai är mycket relevant för norska sockeln. Egypten har tyvärr på senare år varit problematiskt på andra sätt, ett flertal gånger har planerat fältarbete blivit inställt i sista minuten på grund av terrorattentat och politisk instabilitet.

## Från fält till reservoarmodell

Fältarbete och datainsamling är dock bara halva Fault Facies, den andra halvan är att anpassa existerande mjukvara så att den kan hantera förkastningar som tredimensionella volymer. På så sätt kan man efterlikna förkastningarna som man faktiskt ser dem i fält, vilket ger ett mer realistiskt strömmingsmönster för vätskorna i reservoaren. Detta sker i nära samarbete med Roxar, där nuvarande programvara anpassas för att kunna hantera tredimensionell förkastningsmodellering.

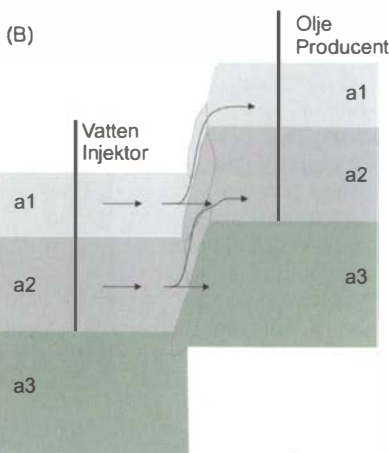
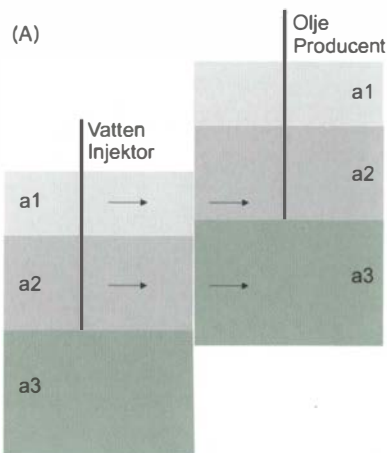
## Fault Facies-modellering

Förkastningar är notoriskt heterogena, och det anses mer eller mindre omöjligt att exakt kunna förutsäga hur en sedimentär sekvens kommer att påverkas av tektonisk deformation. Fault Facies jobbar därför uteslutande med stokastisk modellering, där 100-tals simuleringsskärningar ger ett statistiskt utfallsrum för möjliga scenarier.

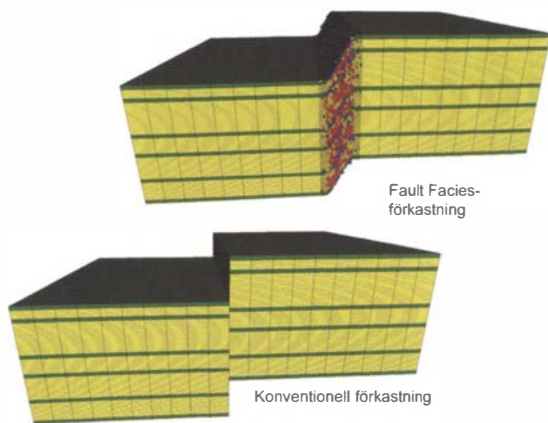
Om projektet lyckas så kan oljeindustrin räkna med många miljontals kronor i ökade intäkter/minskade kostnader, och i slutändan än viktigare, ökad oljeutvinning. Fault Facies har potentialen att bli ett av alla de viktiga stegen framåt som krävs för en tryggad framtida energiförsörjning.

## Reservoarmodellering

Tredimensionella digitala representationer av oljereservoarer är sedan 20 år tillbaka standard i oljeindustrin, både på ett tidigt exploateringsstadium, men kanske framförallt vid senare oljeproduktion. Det har blivit ett mycket viktigt redskap för att beräkna volymen av tillgängliga reserver och brunnspanering, men också för att kunna förutsäga hur oljan/gasen/vattnet strömmar genom reservoaren efter det att man börjar producera i fältet. Det vanligaste sättet att bygga en reservoarmodell består i att geologer/geofysiker tolkar seismiska data och eventuella brunnar, och därifrån skapar seismiska horisonter och förkastningar. Utifrån dessa horisonter och förkastningar bygger man



Vatten injekteras från vänster för att höja trycket i reservoaren, och på så sätt trycka oljan mot oljeproducenten. (A) En konventionell förkastningsmodell utesluter kommunikation mellan a1-a1 och a2-a2, (B) medan en Fault Facies-modell kan hantera sådana situationer också.



*Ett exempel på en färdig produkt, en enkel förkastning representerad i en digital reservoarmodell, dels med konventionell teknik, och dels med Fault Facies-teknik.*

sedan en tredimensionell volym, ett så kallat grid, bestående av små celler, ungefär som tegelstenar i ett hus. En normal reservoarmodell i industriell skala består av miljontals sådana celler, där varje enskild cell innehåller viktiga egenskaper, såsom porositet, permeabilitet, vatten/oljemättningsgrad med mera. Varje cell motsvarar typiskt 50×50×1 meter i verkligheten.

Dessa egenskaper används sedan i en numerisk modell, för att på så sätt kunna beräkna hur oljan strömmar genom reservoaren när man börjar producera olja, det vill säga ta upp olja genom borrhål. På så sätt kan reservoaringenjörer och geologer tillsammans förutsäga hur oljan i en reservoar kommer att strömma över tid, i takt med att mer olja pumpas upp ur borrhålen. Detta är oerhört viktigt för planeringen av nya borrhål när man bygger ut oljefält, speciellt offshore, där ett enda borrhål kostar hundratals miljoner kronor.

Sannolikheten att det blir än viktigare i framtiden är stor, då den "lätt producerade" oljan blir allt svårare att få tag på. Man blir alltså tvungen att börja söka efter olja på allt mer besvärliga platser, till exempel i djuphavsbassänger i Mexikanska golfen, eller i Barents hav, där misstag i form av torra borrhål blir än dyrare. Om man då, med hjälp av billig datakraft, kan simulera vad som kommer att ske redan innan man har borrar sitt hål, finns det mycket pengar att tjäna. Problemet är att all tillgänglig mjukvara (exempelvis RMS, Petrel) är anpassad för avancerad modellering av sedimentära miljöer, men väldigt enkel modellering av förkastningar. Det är detta som Fault Facies-projektet försöker ändra på.

## CIPR – Centre for Integrated Petroleum Research

CIPR är ett forskningsinstitut vid universitet i Bergen, med fokus på ökad oljeutvinning på den norska sockeln. CIPR, som har status "Centre of Excellence" är ett tvärvetenskapligt institut, med ett brett samarbete mellan geologer, fysiker, matematiker och kemister. Budgeten ligger på ca 70 miljoner NOK per år, och ca 50 forskare arbetar heltid här.

Ambitionen är att utbilda 200 MSc och 100 PhD studenter inom "ökad oljeutvinning" (en kompetens som är hett eftertraktad i oljeindustrin), under en tioårsperiod. CIPR är därmed det institut i världen som utbildar flest "oljedoktorer" per år. Den största ansträngningen läggs på att öka förståelsen för hur olja/gas/vatten strömmar genom porösa media, det vill säga sandsten och kalksten, samt uppspruckna bergarter.

## PROJEKTET Fault Facies ...

...är ett av många projekt vid CIPR. Projektets främsta syfte är att öka förståelsen för hur förkastningar i sandsten påverkar strömningen av olja och gas. Det krävs mycket fältarbete för att samla in den strukturgeologiska data, som sedan implementeras i digitala modeller. Samarbete med ett av de ledande mjukvaruföretagen för reservoarmodellering, Roxar Software Solutions, och Norsk Regnesentral (NR), är ett viktigt steg i ledet. Här är det samarbete mellan statistiker, programmerare och geologer som för projektet vidare, en nog så annorlunda, men väl fungerande konstellation.

Fault Facies är ett treårigt projekt som är sponsrat av bland andra Statoil och ConocoPhillips. Totalt är budgeten cirka 25 miljoner norska kronor. Det kan låta mycket, men med tanke på att ett enda borrhål kan kosta tio gånger så mycket, är det mycket pengar som kan sparas om forskningen faller väl ut.

## REFERENSER

Tveranger, J., Braathen, A., Skar, T. and Skauge, A. 2005. Centre for Integrated Petroleum Research - Research activities with emphasis on fluid flow in fault zones. Norwegian Journal of Geology, 85, 63-71.

# Lagring av

En indirekt energifråga:  
Kan koldioxiden som frigörs vid förbränning av fossila bränslen fångas och ledas ner i underjorden – istället för att släppas ut i luften? Konceptet låter kanske utopiskt, men mer än än tio års forskning vid det norska gas- och oljefältet Sleipner visar att det är fullt möjligt.

TEXT Björn Berger, Ola Eiken

Kyotoprotokollet, som är ett internationellt avtal om reduktion av koldioxidutsläpp, kom 2005 – dess utgångspunkt är den generella uppfattningen att utsläpp av växthusgaser från mänsklig aktivitet medför förändringar av jordens klimat. Den viktigaste växthusgasen är CO<sub>2</sub> (koldioxid). Och förbränning av fossila bränslen är den viktigaste källan till CO<sub>2</sub> från mänskliga aktiviteter. Både förbättrad energieffektivitet och användning av alternativa energikällor kan bidra till minskade CO<sub>2</sub>-utsläpp.

Cirka 85 procent av världens energibehov täcks i dag av fossila bränslen. En snabb övergång bort från olja, naturgas och kol kommer att kräva stora förändringar i infrastruktur och ekonomi. Vi på Statoil tror att fångst och lagring av CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> capture and storage, ofta förkortat till CCS) kan vara ett, av flera verktyg, för att snabbt uppnå en kraftig reduktion av utsläppen av växthusgaser. På kort sikt kan

en lösning vara att ta hand om de koncentrerade CO<sub>2</sub>-strömmar som redan finns i olika industri-skorstenar. CO<sub>2</sub> i avgaser från kraftstationer kommer att, med sin lägre CO<sub>2</sub>-koncentration, kosta mer att fånga, men vi avser att utveckla metoder för att fånga också den.

Det första beslutet att lagra CO<sub>2</sub> i berggrunden som en klimatåtgärd, togs redan 1990 av Statoil och våra licenspartners på Sleipnerfältet i Nordsjön. Ett annat, och liknande beslut, kom hösten 2001 då Statoil med partners i Snöhvitlicensen i Barentshavet bestämde att injicera avskild CO<sub>2</sub> också här.

## Forskning med stöd av EU

Statoil har en vision om att gas och olja kan fortsätta att konsumeras ett tag till – innan förnybar energi tar över. Fossila bränslen kan också omformas till el eller vätgas, vilka är CO<sub>2</sub>-fria energibärare om den CO<sub>2</sub> som uppstår i processen kan fångas, för lagring i berggrunden. Fångst av CO<sub>2</sub> från olika industriella processer eller kraftvärme-produktion har varit ett centralt ämne i Statoils forsknings- och utvecklingsprogram i mer än tio år, och frågan är fortfarande central.

Tillsammans med det internationella energisamarbetets forskningsprogrammet gällande växthusgaser, IEA Greenhouse Gas R&D Programme, tog Statoil tidigt initiativ till en bred forskningsaktivitet med anknytning till injektionen av CO<sub>2</sub> på Sleipnerfältet. Avsikten var att lära sig så mycket som möjligt, och samtidigt involvera en bred grupp av experter från olika länder. Detta initiativ resulterade i ett internationellt forskningsprogram med namnet *Saline Aquifer CO<sub>2</sub> Storage Project*, SACS. Det var delfinansierat genom EU, och med deltagande institutioner från Frankrike, Tyskland, Nederländerna,

Genom extremt noggranna gravimetriska mätningar går det att övervaka CO<sub>2</sub>-molnet nere i berggrunden/havsbottnen.

Gravimeter

CO<sub>2</sub> storage



# CO<sub>2</sub> i berggrunden

Danmark, Storbritannien och Norge. SACS avslutades i 2002, men har gett inspiration till en rad nya projekt, där man också ser över möjligheter för att lagra på andra platser. (Läs mer om dessa projekt på <http://www.co2captureandstorage.info/>). Ett viktigt resultat från forskningen hittills är att den injicerade koldioxiden syns vid seismiska registreringar.

## Tunna lager bromsar gasen

Upprepad seismik är numera en dokumenterad metod för att övervaka CO<sub>2</sub>-lagringen. Från Sleipnerfältet har vi en unik samling av seismiska övervakningsdata genom hela injektionshistorien. Tredimensionell seismisk data har samlats in vid sex tillfällen: Före injektionen 1994 och sedan 1999, 2001, 2002, 2004 och senast i juni 2006.

CO<sub>2</sub>-vätskan i Utsiraformationen visar sig ge väldigt goda reflektioner, och seismiken visar tydligt ackumulationer på nio olika nivåer. Orsaken till att CO<sub>2</sub>-vätskan samlas i flera lager är att tunna skifferlager (< 1 meter tjocka), i den annars sandiga Utsiraformationen, bromsar CO<sub>2</sub>-vätskan på så sätt att det uppstår ackumulationer på undersidan. Den goda reflektiviteten kan förklaras som "tunnlagerreflektioner", på grund av interferens mellan topp och botten av CO<sub>2</sub>-lager med några få meters tjocklek. På det sättet uppstår ett entydigt förhållande mellan lagertjocklek och amplitud. Kvantitativa beräkningar visar att ungefär 80 procent av den CO<sub>2</sub> som har injicerats återfinns i dessa

lager. Det lager som har störst utsträckning ligger ungefär mitt i Utsiraformationen, medan topplagret har haft störst tillväxt de senaste åren.

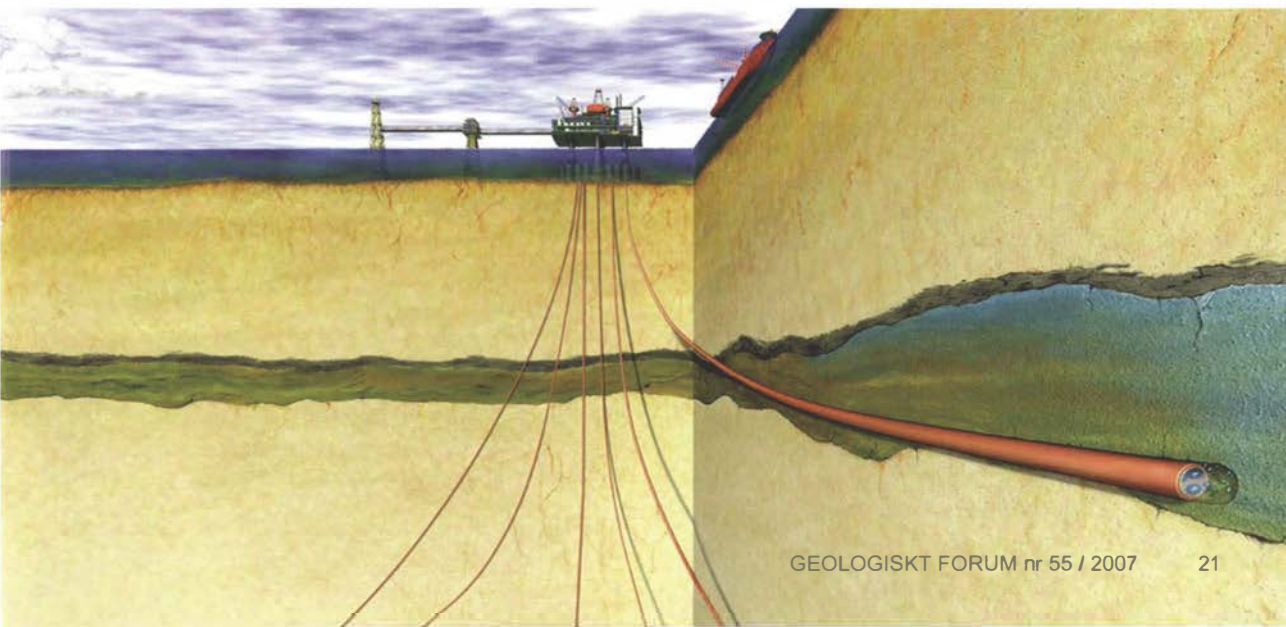
De nedre lagren har slutat växa, och reflektiviteten verkar vara reducerad. Men detta behöver inte vara reellt, det skulle kunna bero på att de övre lagren bildar akustiska skuggor, eller att den ökande reduktionen i seismisk hastighet i de överliggande lagren gör det svårare att få en god seismisk bild av de undre lagren.

## Koldioxidens spridning

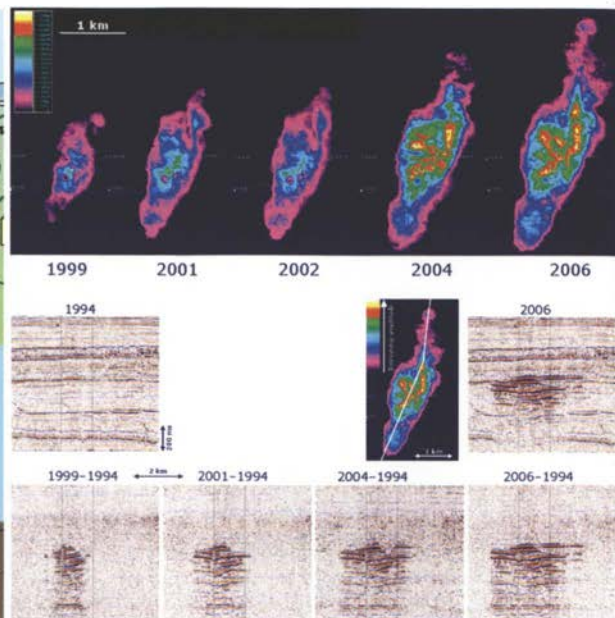
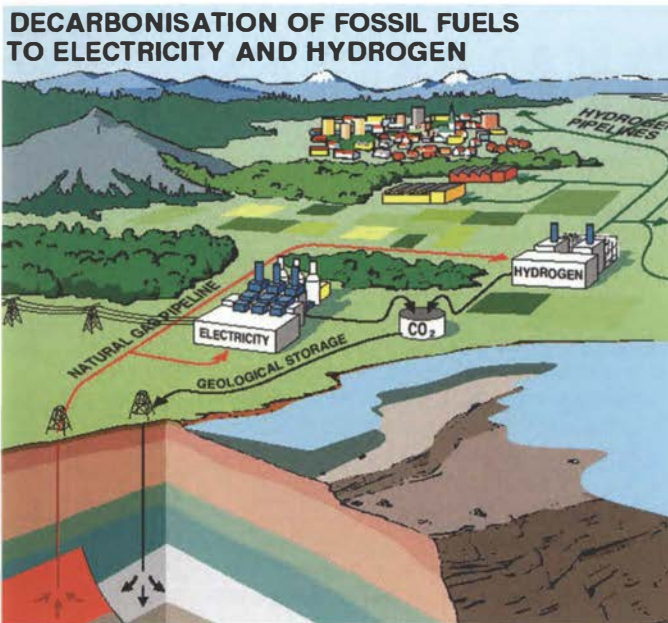
Seismiken visar tydlig försening för vågorna som har gått genom CO<sub>2</sub>-molnet (så kallad *pushdown*). Detta fenomen kan användas för att beräkna mängden av CO<sub>2</sub>, om man känner till relationen mellan hastighet och CO<sub>2</sub>-innehåll. CO<sub>2</sub>-molnets areal har haft en jämn tillväxt de tio åren injektionen har pågått. Under den sista mätningen i 2006 var ytan 2,8 kvadratkilometer stor. Molnfronten rör sig långsamt i de flesta riktningar (~10–30 meter per år). Norrut går det lite fortare, där har fronten rört sig med upp emot 240 meter per år.

Genom alla reflektionerna, ända upp till toppen av Utsiraformationen, ses en vertikal "skorsten", nära injektionspunkten. Genom åren har reflektionerna (CO<sub>2</sub>-lagren) växt i både tjocklek och storlek ut ifrån denna "skorsten". Vi antar att "skorstenen" är orsakad av CO<sub>2</sub>-injektionen och bildar en vertikal tillförselkanal. Mekanismerna bakom bildningen av den här

CO<sub>2</sub> injiceras genom ett av borrhålen under Sleipner A-plattformen. Injektion av CO<sub>2</sub> från plattformen startade 1996. Hittills (maj, 2007) är 9,1 miljoner ton CO<sub>2</sub> lagrad i sandsten som ligger 700–900 meter under havsbotten. Injektionsbrunnen är borrar diagonalt cirka 3000 meter ner genom havsbotten och har en 36 meter lång perforerad del som ligger 2,5 kilometer vid sidan av Sleipner A-plattformen, 1010 meter under havsytan. Här bildar Utsiraformationen en svag antiklinal.



# DECARBONISATION OF FOSSIL FUELS TO ELECTRICITY AND HYDROGEN



Övre bilden, till vänster, visar Statoils vision: Hur naturgas (eller olja, kol) kan processas till de CO<sub>2</sub>-fria energibärarna hydrogen och el. Det förutsätts att processer för att fånga CO<sub>2</sub> utvecklas, så att gasen kan komprimeras till vätskeform för att uppnå effektiv transport och injektion och att koldioxiden lagras permanent i berggrunden.

Den övre bildserien visar utvecklingen av den största CO<sub>2</sub>-bubblan, tolkat från de seismiska registreringarna.

Bilderna i mitten visar, från vänster, seismisk vertikalprofil före injektion av CO<sub>2</sub> 1994, och efter 2006, där man tydligt kan se koldioxidmolnet.

Den nedre bildserien visar differensen mellan de seismiska registreringarna gjorda vid olika tidpunkter och registrering under 1994.

tillförselskanalen är inte helt kartlagda. Seismiken visar dock inga tecken till läckage från reservoaren. Repeterbarheten i datan är mycket god, och akkumulationer ner till endast ett tiotal ton CO<sub>2</sub> är detekterbara.

Permeabiliteten i Utsiraformationen är uppmätt till flera Darcy, och porositeten är omkring 37 procent. Under sådana betingelser kommer flödet av CO<sub>2</sub> att styras av vätskans "vilja" att styra uppåt (uppdrift) – och kontrolleras av topografin på de överliggande skiffrarna. Reliefen under den förseglande skiffrarna är endast några få meter. Små hastighetsvariationer i överliggande lager kan ge stora utslag i beräknat djup, något som gör det svårt att förutsäga i detalj hur CO<sub>2</sub>-vätskan under denna vill utbreda sig. Men prediktionen att vätskan utbreder sig fortast norrut ser ut att stå sig.

Vi har inga *in situ* mätningar i reservoaren av densiteten gällande CO<sub>2</sub> i Utsiraformationen. Utifrån perforeringen kan vi anta att CO<sub>2</sub> har ett tryck som är nära det hydrostatiska, det vill säga cirka 100 bar. Temperaturen kan vara så hög som 57 grader, medan formationens ursprungliga temperatur är lägre (omkring 42 grader vid injektionspunkten). Med sandstens stora värmekapacitet kommer CO<sub>2</sub>-vätskan hastigt kylas ner och densiteten öka. Detta reducerar både stigningen uppåt och volymen. När densiteten i berggrunden ändras, ändras även tyngdkraften på ytan. Vid Sleipner har det genomförts repeterade gravimetriska mätningar från permanenta betongblock på

havsbotten. Mätningarna visar en reduktion i tyngdkraften på cirka sju mikroGal (som utgör sju miljarddelar av jordens gravitationsfält) från 2002 till 2005. När vi känner till CO<sub>2</sub>-molnets geometri från seismik, kan vi med hjälp av gravimetrin uppskatta densiteten till 530 kilo per kubikilometer (+/- 65 kilo per kubikilometer med 95-procentig signifikans).

## Ger världen kunskap

God kännedom om fördelning, strömning och densitet av CO<sub>2</sub> är viktigt för att förutsäga vart koldioxiden kommer att ta vägen. Under en tidshorisont på flera hundra år kommer dessa faktorer att vara helt avgörande för hur fort CO<sub>2</sub> löser sig i formationsvattnet. I dag, efter tio års injektion och övervakning vid Sleipnerfältet, börjar tidsperioden bli tillräcklig för att vi ska kunna säga något om framtiden. På andra platser i världen har försök med injektioner nyligen påbörjats. Erfarenheterna från Sleipner är därmed unika, i och med att försöken pågått under lång tid. Världen får genom Statoils och dess partners satsningar därmed en bättre chans att förstå och acceptera geologisk lagring av CO<sub>2</sub> som ett säkert sätt att reducera utsläppen av växthusgaser.

BJÖRN BERGER Ressursleder, Energi och Miljö,  
OLA EIKEN Geofysiker, specialist reservoarmonitoring, båda vid Statoils forskningscenter, Trondheim, Norge.





# Är torv fossilt eller inte?

## – om betydelsen av en term

TEXT Dag Fredriksson  
BILD SGU

När jag första gången fick frågan om torv är fossilt eller inte kunde jag knappast ana vidden av frågeställningen och knappast heller att frågan i dag, 15 år senare, fortfarande skulle diskuteras ivrigt. Frågan ställdes av en kommitté inom Svensk Industri Standard, SIS, som arbetade med standardisering av fasta bränslen. Vid den tiden och efter en snabb rundfrågning bland kollegorna på Sveriges geologiska undersökning visade det sig att ingen egentligen visste, även om man i de flesta fall ansåg sig veta, vad termen fossil stod för. De flesta menade att torv var fossilt, medan andra röstade på subfossilt. Någon samstämmig uppfattning om vad termen betydde fanns inte.

Anledningen till att frågan blivit en het potatis inom standardiseringsarbetet var att skogsindustrin på

den tiden såg energitorv som en konkurrent till trädbränslena. Torven skulle därför bidra till att sänka priserna på skogsråvaror, vilket skogsindustrin var mindre intresserad av och därför var önskemålen starka att få bort torven ur ett regelsystem som gynnade användning av trädbränslen. Torvindustrin ville å sin sida naturligtvis att torv skulle räknas som ett biobränsle och därför befrias från koldioxidskatt på samma sätt som trädbränslena och i övrigt kunna tillgodoräkna sig de positiva regelverk som gällde för biobränslen. Knappast någon diskuterade vid denna tid klimataspekterna. Därför fanns det anledning att titta närmare på frågan då betydande ekonomiska och politiska intressen doldes i en till synes trivial terminologifråga. En första studie av ordböcker och lexikon var inte till mycket hjälp. Någon brist på förklaringar och definitioner var det dock inte.





Svensk uppslagsbok (upplagan 1947–1955) gav kanske den bästa sammanfattande beskrivningen eller: **Fossil** (av lat. Fossilis, uppgrävd), petrifikat, petrefakt eller förstening, gemensam benämning på alla i berg- och jordarter bevarade lämningar och spår efter växt- och djurvärld från gångna geologiska perioder (jfr Fossila spår och Fossilation; används även som adj., motsatt recent (ny, nu levande). Former som utdött i historisk tid, betecknas ofta som subfossil....

Dictionary of Geological Terms, 1974 skriver:

**fossil** 1. The remains or traces of animals or plants which have been preserved by natural causes in the earth's crust exclusive of organisms which have been buried since the beginning of historic time. 2. Anything dug from the earth.

Geologisk ordlista, TNC 86 uttrycker sig så här:

**fossil** – et-, hellre än förstening rest eller spår av organism vilka bevarats genom inbäddning i sediment, ofta med förändrad sammansättning på grund av diagenes; jfr spårfossil. Fossil bevaras ibland enbart som avgjutning eller avtryck. Som adjektiv kan termen fossil även användas med vidare syftning än på organismer, t.ex. i uttrycken fossilt bränsle och fossilt böljeslagsmärke.

**D**et blev snart tydligt att det varken var möjligt eller lämpligt att, utgående från betydelsen av ett ord eller en term, argumentera för om torv skulle klassas som ett fossilt bränsle eller som ett biobränsle. Inte heller subfossilt var användbart, då knappt någon ute i industrin förstod betydelsen av detta. Användning av termen subfossil skulle också innebära en gränsdragning utgående från ålder, med en gräns där fossila bildningar skulle vara äldre än från "historisk tid". Historisk tid brukar definieras som tiden efter skriftspråkets införande, och våra svenska torvlager har som bekant en ålder på mellan cirka 8 000 år till nutid. Frågan om olika torvlagers ålder kontra åldern på olika trädstrester (av alla redan accepterade som biobränslen) blev emellertid nästa punkt på diskussionsagendan. Det blev dock snart tydligt, vilket egentligen borde varit ganska självklart från början, att man aldrig får låta sig vägledas (eller förvirras) av definitionen av ett ord när lösningen kräver fakta som relateras till den egentliga bakomliggande frågeställ-

*Världens samlade torvmarksarealer har beräknats till 3 985 000 kvadratkilometer. Av dessa finns 64 000 i Sverige, vilket gör vårt land till ett av världens torvmarkstättaste. Energiinnehållet i den svenska torvtillgången har beräknats till omkring 57 000 TWh vilket motsvarar landets samlade energitillförsel i mer än ett hundra år. Endast en mindre del (ca. 0,3 milj. hektar) av denna bruttoresurs är dock av tekniska-, ekonomiska- och naturskyddsskal utvinningsbar. Energitorv produceras ofta som så kallad stycketorv. Torven fräses upp av en roterande klinga och ältras i en skruvvarp på den får lufttorka på tegytan.*

ningen. Inte heller torvens ålder kontra åldern på kol och trädbränslen, eller om till exempel den levande delen av en sphagnumplanta (vitmossa) skulle klassas som biomassa och den döda delen som fossil/subfossil ledde vidare till konsensus. Lika svårt eller omöjligt var det att diskutera kring skillnader i kemisk sammansättning och genes.

Resultatet blev senare att SIS-standarderna kom att gälla för "Trädbränslen och torv". Torven fick alltså bilda sin egen grupp, till skillnad från de definitioner som gällde i Kyotoprotokollet, där torv likställdes med kol, olja och naturgas (på senare tid har man ändrat sig och torv ingår även här i en egen grupp). Den egentliga bakomliggande frågan var alltså inte löst, nämligen – ska de för trädbränslena positiva styrmedlen i fråga om skattesubventioner och bidrag även gälla för torv?

Diskussionen tog nu en ny vändning och kom att handla om huruvida torv är en långsiktigt hållbar och förnyelsebar resurs eller inte. Med hjälp av C-14-dateringar främst från SGUs kartbladsbeskrivningar beräknades den historiska tillväxten av torvsubstansen i ett antal svenska myrar. Omräknat till terrawattimmar, utgående från vanliga vattenhalter och kolhalter, kom man då fram till att tillväxten i den samlade svenska torvmarksarealen (6,4 miljoner hektar) motsvarade cirka 10–12 TWh per år. Följaktligen långt mer än produktionen som då låg (och även nu) ligger på 2–3 TWh per år. Torvbranschen ansåg då att torvbrytning skulle kunna anses som långsiktigt hållbar även upp till 10–12 TWh. Det påpekades dock snart att detta var som att jämföra äpplen med päron, en knappast torvlagren inom täktytorna skulle kunna förnyas inom ett rimligt tidsperspektiv. I Kyotoprotokollet räknar man med ett hundraårsperspektiv. Så här dags hade frågan också fått ett tydligt klimatperspektiv.

**M**edlemsländerna i den Europeiska Unionen, hade accepterat nationella mål (inom ett gemensamt åtagande på minus åtta procent för sina emissioner av växthusgaser. Målen hade satts utgående från historiska utsläpp och avsåg perioden 1990 till ett medelvärde för åren 2008 till 2012. Sverige fick här tillåtelse att öka sina utsläpp med fyra procent (men satte senare ett eget nationellt mål på minus fyra procent). Till sin hjälp för att få ner sina utsläpp till överenskomna värden hade nu länderna Kyotoprotokollets så kallade flexibla mekanismer, varav ett var handeln med utsläppsrätter. Denna handel skulle ske och sker inom unionen mellan så kallade Annex 1-länder. Klassificeringen av torv hade nu fått ett internationellt perspektiv, med tydlig inriktning mot klimatfrågor.

Vid beräkning av nationella utsläpp samt i handels-systemet används utsläppsfaktorer för koldioxid och systemgränsen för kalkylen sätts kring själva förbränningen. Utsläppsmängderna blir då beroende av bränslets värmevärde som i huvudsak varierar med bränslets kolhalt och vattenhalt. Enligt detta, beräk-

ningsförfarande som är accepterat av FN:s klimatkonvention (UNFCCC), får torvbränslen en utsläppsfaktor som är högre än för kol.

Detta kan tyckas orättvist gentemot torven, då man vet att naturliga myrar läcker växthusgaser och torvbrytning i någon mån avbryter detta läckage. Det är möjligt att mäta läckaget av växthusgaser från myrarna och över tiden jämföra detta med det i stort sett momentana utsläpp som sker vid förbränning av torven i en förbränningsanläggning. Eftersom en del av emissionen, särskilt i eutrofa myrar, sker i form av metan, och metan ger 21 gånger så högt bidrag till växthuseffekten per kolatom som koldioxid, är det möjligt att i "gynnsamma" fall visa på en kalkyl där torvförbränning är jämförbar med förbränning av biomassa. Kalkylen kräver dock att man väljer ingångsdata som är mycket gynnsamma för torven och ur växthusgassynpunkt fördelaktiga efterbehandlingsalternativ för de utbrutna täkterna. Vanliga värden på ingångsdata i kalkylen ger en balanspunkt på 200 till 300 år, snarare än de 100 år som UNFCCC satt som rimligt tidsperspektiv för motsvarande resonemang.

Kruxet ligger emellertid inte bara i valet av ingångsdata i kalkylen utan även i det faktum att enligt UNFCCC:s regelverk räknas enbart antropogena (de av människan orsakade) förändringarna. Ett avbrott av emissionen från en naturlig myr kan därför sannolikt inte räknas in i dessa analyser. Däremot kan förändringar i växthusgasemissionerna räknas in i de fall myrarna redan är påverkade av mänsklig aktivitet exempelvis dikning, skogsbruk eller jordbruk. Det är således inte troligt att systemgränserna i dessa kalkyler kan utvidgas till situationen både före och efter brytning, det vill säga till hela processens livscykel.

**A**lltså är branschen i stort sett efter 15 år tillbaka på ruta ett. För närvarande ingår också torv i de bränslen som i likhet med; kol, olja och naturgas kräver utsläppsrätter. Anledningen är naturligtvis bland annat att handeln med utsläppsrätter är en internationell överenskommelse. Produceras däremot el vid torvförbränningen kan denna tillgodoräkna sig elcertifikat. Elcertifikat ges till förnybar växthusgasneutral elproduktion och eftersom elcertifikatsystemet är ett nationellt regelverk kunde Sverige bestämma själv och meddela Bryssel hur vi gör.

Det återstår nog nu bara för torvbranschen att föra frågan åter till politiken – där man är experter på att fatta beslut på osäkra och mångfacetterade underlag. Slutligen kan dock konstateras att i vårt land bör det finnas utrymme för ett begränsat varsamt torvbruk både av sysselsättnings- och energiförsörjningsskal, oavsett om torv är att betrakta som fossilt eller inte.

---

DAG FREDRIKSSON 1:e statsgeolog vid Sveriges geologiska undersökning har under många år arbetat med torvmarksundersökningar och miljöutredningar kring torv och torvanvändning.





# Det heta Island

Välkommen till ön där merparten av alla hushåll får sitt varmvatten från geotermiska brunnar. Uppvärmningskostnaderna är låga, men sker till priset av en viss lukt av svavelväte. Men inte bara värme fås från underjorden. Även el kan produceras. Just nu pågår försök med att få upp superkritiskt vatten, det vill säga vatten som är riktigt hett: 450–600° C.

TEXT OCH BILD Erik Sturkell

**G**eotermisk energi finns över allt, man behöver "bara" borra djupt nog och försäkra sig om vattencirkulation. Tunn oceanisk skorpa och aktiva vulkaner ökar möjligheterna för rikliga mängder av geotermisk energi och då är Island ett ytterst lämpligt land. Det finns två huvudtyper av ytnära

förekomster av geotermisk energi, som kan ytnyttjas genom enkel borrhning. Dessa ligger i anslutning till aktiva vulkaner eller är tektoniskt betingade.

På Island har man delat in de geotermiska förekomsterna i två grupper, lågtemperaturområden med temperaturer upp till ~120°C och högtemperaturområden med temperaturer upp till 374°C. Lågtemperaturområden förekommer där de tektoniska förhållandena främjar detta, då sprickor ger ökad cirkulation. Ytligt liggande lågtemperaturområden förekommer oftast i botten av dalar eller i andra topografiska lågpunkter. Orsaken till att dalar ligger där de ligger är att de följer tektoniska svaghetszoner.

Geotermalvatten är i jämvikt med omvandlingsmineral som är utfälllda på sprickväggarna, mineralen består till största delen av hydrerade silikater, oxider och sulfider. Geotermalvatten är rikt på upplöst kisel vilket kontrollerar vattnets pH genom jämvikt med kalcedon och kvarts. Geotermalvatten är därför svagt basiskt med pH ~8,3 (samma pH som havsvatten och blod). Geotermalvatten där CO<sub>2</sub>-gas är dominerande har ett lägre pH, omkring 4,5. Karbonatkällor (ölkelda) finns på Island men i ett ytterst begränsat antal.

Avsvalnande vulkaner kan ge upphov till höga temperaturer. Här är gångar och grunda intrusioner värmekällor för det geotermala vattnet. Värmekällorna är verksamma långt efter det att de magmakammare på större djup, varifrån intrusionerna har sitt ursprung, har svalnat. Geotermalsystem i jämvikt har en termal-



*Bilden på vänster sida: Det geotermiska kraftverket (60 MW) vid vulkanen Krafla på norra Island. Övre bilden till vänster: Varma källor som ligger vid vulkanen Peistareykir på norra Island. Till höger: Kiselutfällningar på kranar sker fram för allt då vattnet kommer från lågtemperaturområden. Se även Geologiskt forums omslagsbild som visar geotermalområdet Hverdalur i Kverkfjöll.*

gradient som sammanfaller med vattnets ångbildningskurva, det vill säga den tryckberoende temperatur där vatten och vattenånga är i jämvikt.

**G**eotermiskt vatten är kemiskt reducerande, där förekommer svavel i form av den reducerade bisulfid jonen  $\text{HS}^-$ . Jonen ger i sin tur upphov till en svag  $\text{H}_2\text{S}$ -avgasning (svavelväte), som luktar mycket, även i mycket små koncentrationer. Varma källor är ytmanifestationen för cirkulation av geotermalvatten och detta vatten analyseras för att möjliggöra en beräkning av vattnets ursprungstemperaturer. Lösligheten av kvarts och fältspat är temperaturberoende, därför kontrolleras mängden av upplöst kisel,  $\text{SiO}_2$ , och alkalimetallerna natrium och kalium. Genom kemisk prospektering av varmt ytvatten kan man också bestämma de varmaste delarna inom ett geotermiskt område. Detta är det första steget i geotermisk prospektering, mätningar genomförs tillsammans med resistivitetsmätningar i de aktuella undersökningssområdena, innan man börjar borra.

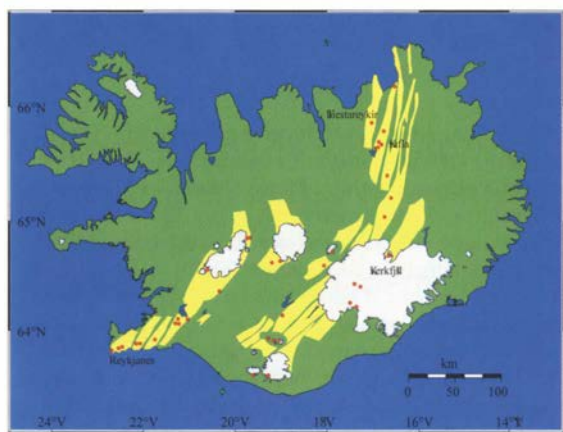
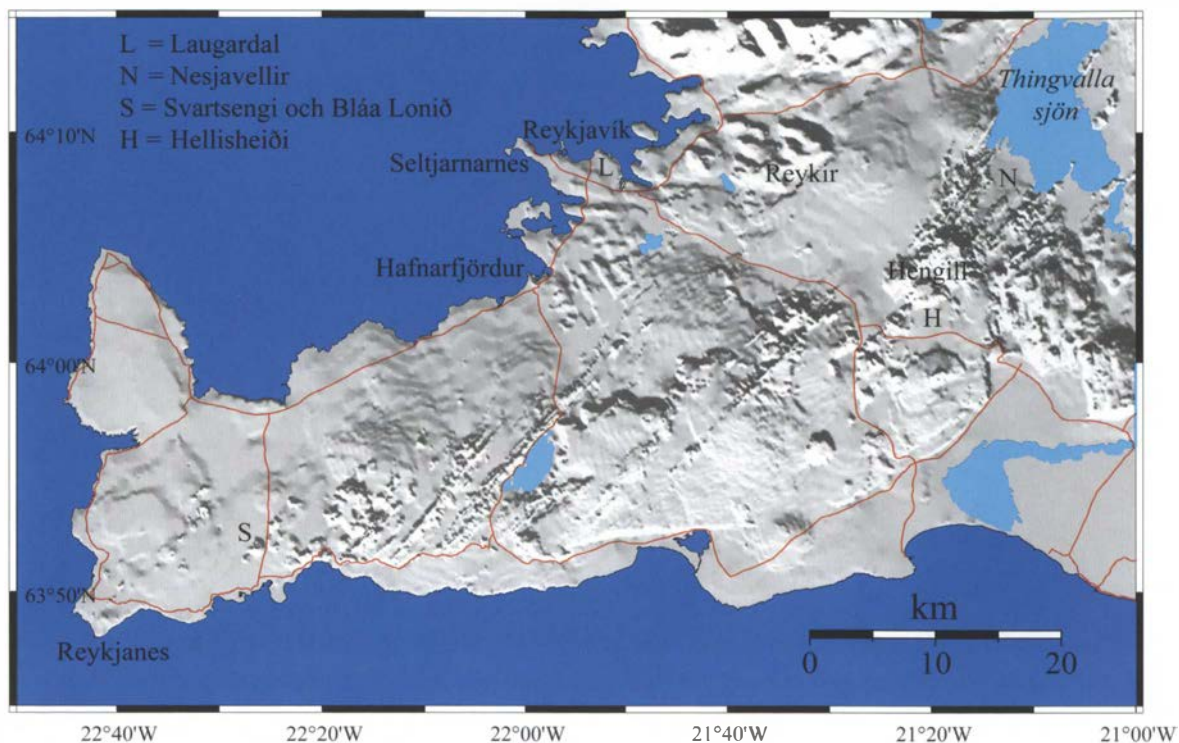
När färskvatten värms upp med geotermiskt genererad ånga, blandar man på Island svavelväte i färskvattnet för att reducera den syrgas som blivit upplöst däri. Därmed "rostskyddas" rörledningarna, de blir belagda med järnsulfid (rören blir svarta på insidan). Dock luktar svavelväte obehagligt, men man försöker att hålla en så låg halt som möjligt, omkring 0,1-0,5 mg/l (ppm), för att ändå få ett rostskydd. Ty om

man inte har ett starkt reducerat system, och speciellt om det är en hög kloridhalt i vattnet, blir vätskan annars rostframkallande. Efter oljekrisen 1973 försökte Seltjarnarnes kommunen (som ligger direkt väster om Reykjavík på en udde som sträcker sig ut i havet) att utnyttja det geotermiska vattnet direkt. Detta slutade olyckligt, vattnet var saltblandat och ortens alla element förstördes på några månader.

Färskvatten som man värmer upp med geotermalt producerad ånga, får inte heller blandas med genuint geotermalvatten. Orsaken till detta är att färskvatten innehåller magnesium och kalcium (~10 ppm eller mg/l) men låg  $\text{SiO}_2$ -halt. Geotermiskt vatten har höga  $\text{SiO}_2$ -halter, upp till 100–500 ppm, men ytterst låga magnesium- och kalciumhalter, som förblir i akvifererna som omvandlingsmineral (kalcit, magnesiumleror). Om dessa två typer av vatten blandas fälls magnesiumlera ut och leran proppar omedelbart igen ledningarna.

Cirka 87 procent av alla hem på Island värms upp och får sitt varmvatten från geotermiska källor. Varmvattnet som kommer ur kranarna är hett; i Reykjavík kan temperaturen vara så mycket som 75°C, så man får passa sig så att man inte bränner sig! (Varmvattnet kostar inte så mycket, när det för varmt inne så öppnar man bara fönstren. Det är en fördel att man kan ha fönster öppet året runt ty inomhusluften blir betydligt bättre. En nackdel med geotermiskt uppvärmda vattnet är ju lukten av ruttna ägg. Man vänjer sig emellertid vid detta.)





Ovan: Reykjavikområdet med lågtemperaturområdena i Laugardal och Reykir, och högtemperaturområdena i Hengill (Nesjavellir och Hellisheiði), Svartsengi och Reykjanes.

Till vänster: Fördelningen av de geotermiska områdena på Island. Lågtemperaturområden finns fördelade över hela ön, främst i tektoniska svaghetszoner. Högtemperaturområden (röda punkter) ligger i anslutning till de aktiva vulkansystemen (gult).

Det var 1930 som islänningarna började använda geotermiskt vatten för uppvärmning i större skala i Reykjavik. Det var lågtemperaturområdet i Laugardal som först byggdes ut, med syftet att förse några offentliga byggnader och cirka 70 privata hus med varmvatten. Utbyggnaden fortsatte och Laugardalen hade inte tillräcklig kapacitet, så fler geotermiska anläggningar skapades. Framförallt lågtemperaturområdet Reykir, 17 kilometer från staden byggdes ut i och med den snabba befolkningstillväxten. Reykjavik hade knappt 30 000 invånare år 1930, år 2006 var antalet mer än 116 000. År 1987 påbörjades även en utbyggnad av högtemperaturområdet i Nesjavellir, som ligger vid vulkanen Hengill, 27 kilometer från staden. Reykjavik får alltså sitt varmvatten från två olika

typer av geotermala områden idag. De äldre delarna av staden får sitt varmvatten från lågtemperaturområden där vattnet har en högre  $\text{SiO}_2$ -halt som visar sig genom kiselutfällningar på kranarna och en distinkt lukt av  $\text{H}_2\text{S}$ . De nyare delarna av Reykjavik får sitt varmvatten från högtemperaturområdet i Nesjavellir.

Geotermisk energi används inte bara för uppvärmning utan också för produktion av elektricitet. Detta började 1969, då det installerades en 3MW:s generator i närheten av Kraflavulkanen på norra Island. Kort därefter byggdes ett betydligt större kraftverk i detta område, med hjälp av två turbiner om totalt 60 MW. Under uppbyggnaden av kraftverket började ett vulkanutbrott i Krafla. Detta

utbrott inleddes i december 1975 med en liten eruption, som följdes av ytterligare åtta eruptioner och än flera intrusioner, ända fram till september 1984. (Den som önskar en något mera djupgående beskrivning av Krafla utbrottssekvens rekommenderas en tidigare artikel i Geologiskt forum nr 48, 2005.) Utbrottet medförde önskade förändringar i det geotermiska fältet vilket ledde till att kraftverket kördes på halv kapacitet fram till 1997.

Vid användandet av geotermisk energi för elproduktion utnyttjas endast omkring 15 procent av energin i ångan. Restprodukten, den kondenserade ångan (det vill säga hett vatten) kan pumpas ner i geotermalfältet eller släppas ut i atmosfären. Om elproduktion kombineras med produktion av varmvatten till hushåll, kan restvattnet användas för uppvärmning. Den första anläggningen med denna kombination var den i Svartsengi som ligger på Reykjanes. Anläggningen byggdes 1976 och under åren har kapaciteten utökats, idag producerar den cirka 46 MW elektricitet samt förser 20 000 människor med hett vatten. Det blir dock en del spillvatten och detta släpps i retur ut i lavafältet. Spillvattnet skimrar blått, på grund av att det har en hög kiselhalt. Kisel som efter polymerisation absorberar rött ljus, syns i vattenströmmen som ett blå band. Idag kallas området "Blåa Lonið" den blåa lagunen och det är populärt att bada i det varma spillvattnet. Här finns en stor badanläggning och ett hotell som tar emot över 100 000 gäster per år.

År 1998 påbörjades elproduktion även i Nesjavellir, med hjälp av en turbin. Idag är anläggningen utbyggd till tre turbiner med en total kapacitet på 90 MW. Det finns även ett nytt geotermiskt kraftverk, 80 MW, nära Nesjavellir vid Hellisheiði. Detta producerar enbart elektricitet. Ytterligare ett kraftverk, 100 MW, är under uppbyggnad på Reykjanes. Elen har framför allt sålts till olika aluminiumsmältverk. Idag finns det planer för ett nytt aluminiumverk på norra Island, just norr om Húsavík där de geotermiska resurserna i Krafla och grannvulkanen Þeistareykir är tänkta att utnyttjas för elproduktion.

Det finns även planer på att borra efter vatten som har superkritisk temperatur, 450–600°C. Att borra efter så hett vatten är en stor teknisk utmaning. Men om detta lyckas kan energiproduktionen ökas tiofalt. Ett djupborrhål för detta ändamål är planerat i Kraflavulkanen, siktet är inställt på att sätta borrhålet just i kanten av den grunda magmakammaren. Island har en stor geotermisk potential och om försöken med att ta upp superkritiskt vatten lyckas, behöver inte alla geotermiska områden i landet byggas ut.

---

ERIK STURKELL *fil.dr och forskare vid Nordiskt vulkanologiskt center, Islands universitet.*

## GEOTERMI I SVERIGE OCH DANMARK

I Sverige har det sedan 1900-talets början genomförts undersökningar i framför allt Skånes, men även Gotlands och Dalarnas sedimentära berggrund, med syftet att leta efter exempelvis olja och gas. Kunskaperna om den sedimentära berggrunden som erhållits vid undersök-



FOTO: MIKAEL ERLSTRÖM

ningarna har på senare tid kommit till nytta i de geotermiprojekt (låg temperatur) som i olika omgångar initierats både i Skåne (exempelvis i Lund), på Gotland och i Siljansområdet. (Inga försök har hittills mynnat ut i någon anläggning, bland annat för att kostnaderna för en anläggning initialt är mycket höga). Ett av de senaste projekten gällande geotermi genomfördes i samarbete mellan Sverige och Danmark. Det var i slutet av 1990-talet som dåvarande Sydkraft tillsammans med Köpenhamnsbolaget HGS, Huvudstadens geotermiska sällskap, gjorde undersökningar i Köpenhamn respektive Malmö. Borrningar i två håll, ett i varje stad, genomfördes ner till 2600 respektive 2150 meters djup. I Köpenhamn har ett akvifersystem kunnat skapats och sedan år 2005 körs en geotermisk anläggning som försörjer drygt 5000 villor med varmt vatten för uppvärmningsändamål. I Malmö finns potential för motsvarande utvinning.

## ENERGIBRUNNAR

Tillvaratagandet av mer yttlig värme i marken är ett annat intressant kunskapsområde. Energibrunnar kan anläggas i både berg och jord. I Sverige är bergbrunnar i kristallint berg den vanligaste typen av energibrunn. Vanligtvis borrar man 100–200 meter ner berggrunden. Kunskapen kring anläggandet av energibrunnar har ökat markant sedan mitten av 1990-talet då energibrunnar, efter ett decennium med lågt intresse för energislaget, fick ett stort uppsving. Marknaden de senaste åren kan beskrivas som het. 2006 borrades mellan 35 000 och 40 000 energibrunnar i Sverige. Landet har hittills varit en av Europas största konsumenter av värmepumpar för vätska/vatten, men i Frankrike, England, Tyskland och Polen har borrning av energibrunnar börjat öka och marknaden internationellt är expansiv.

Fakta från SGU. Skrivet av Anna Kim-Andersson.

# Uran i Sverige och världen

Världsmarknadspriset för uran stiger stadigt och intresset för prospektering är större än någonsin.

TEXT OCH BILD Bosse Gustafsson

Få har väl undgått att lägga märke till det nyväckta intresset för uran. Som energiråvara används uran framförallt vid framställningen av elenergi samt i kärnvapen. Det har tidigare i mindre skala till och med provats som sprängmedel. För övrigt används utarmat uran i sin egenskap av tungt ämne, för att balansera tyngtpunkter i gyroskop och flygplan, men även i ammunition, båtölar och som strålskydd. Tidigare användes de gula sekundärmineralen till att färga glas och keramik samt i självlysande färg till exempel i klockor.

Naturligt uran består framför allt av  $^{238}\text{U}$  och  $^{235}\text{U}$ .  $^{235}\text{U}$  utgör bara 0,7 procent av uranet men är den isotop som nästan alltid används i kärnkraftverk. Uranmalmen som kan bestå av 0,02–25 procent uran beroende på förekomstens typ och storlek, anrikas ofta på plats till  $\text{U}_3\text{O}_8$  (yellow cake), vilket är den internationella handelsvaran. Ur detta framställs  $\text{UF}_6$  varefter  $^{235}\text{U}$  anrikas med hjälp av till exempel centrifugering till 3–4 procent och uranbränslet  $\text{UO}_2$ . Det är sålunda en mycket liten del av allt uran som används i konventionella lättvattenreaktorer. Ändå ger 230 gram  $\text{U}_3\text{O}_8$  lika mycket elenergi som 3000 kilo stenkol, det vill säga 8000 kWh. Det finns teknik för att utnyttja även  $^{238}\text{U}$ , det vill säga de övriga 99,3 procenten av allt uran, i så kallade brödreaktorer där  $^{238}\text{U}$  omvandlas till klyvbart  $^{239}\text{Pu}$  (Pu, plutonium, är ett starkt radioaktivt ämne som framställs i kärnreaktorer). Det pågår för närvarande ett stort internationellt samarbete för att utveckla den "fjärde generationens" reaktorer som inbegriper just användandet av transuraneerna, det vill säga grundämnen som är tyngre än uran (uran med 92 protoner), där bland annat plutonium ingår.

I en atombomb krävs höganrikat  $^{235}\text{U}$ , det vill säga 80–90 procent av isotopen. Även plutonium, som utvinns genom upparbetning av använt kärnbränsle, kan ingå.

## Uranets historia

Före år 1789 trodde vetenskapsmännen att det som kallades pechblände var en blandning av järn och titan. Tyske kemisten Martin Heinrich Klaproth lyckades ur detta påvisa ett nytt ämne  $\text{U}_3\text{O}_8$  som han trodde var ett grundämne och han kallade det uran. Först år 1841 lyckades Eugène-Melchior Péligot, en fransk vetenskapsman isolera uranet. 1896 kom den franska fysikern Henri Becquerel av en händelse på att uran avgav strålning eftersom en fotografisk plåt exponerades av enbart ett uranförande mineral. 1903 delade han

Nobelpriset i fysik med makarna Curie vilka hade upptäckt att strålningen främst kom från andra grundämnen som gömde sig i uranet, särskilt det som kom att kallas radium därav namnet. Det var först år 1940 som den sovjetiske kärnfysikern Georgij Flerov fann att uran sönderfaller spontant genom kärnklyvning.

## Marknaden

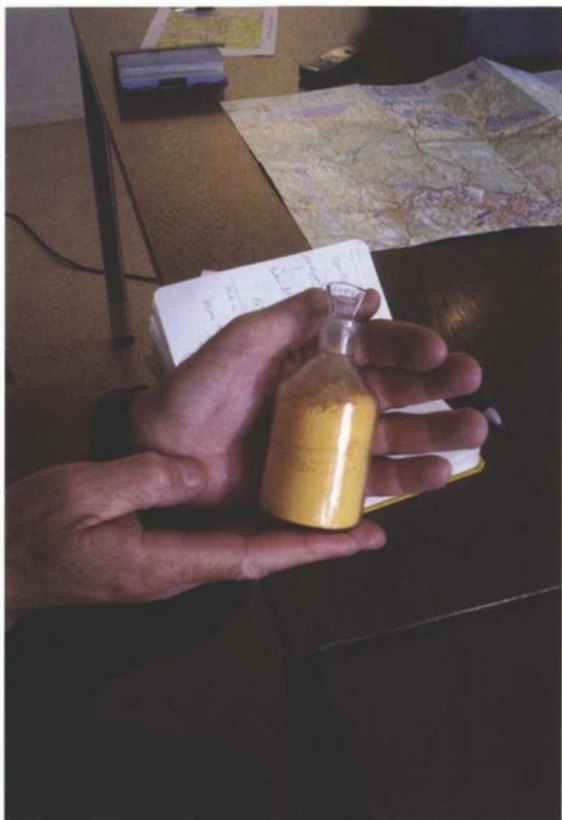
Uranet handlas, som så mycket annat på metallbörsen London Metal Exchange. Enheten är USD/lb  $\text{U}_3\text{O}_8$  vilket betyder dollar per pound yellow cake. Prisutvecklingen har varit extrem de senaste tre åren. 2003 handlades uran för 10 USD/lb. I maj i år var priset 95 USD/lb  $\text{U}_3\text{O}_8$  eller 135 USD/lb på spotmarknaden, det vill säga vid "köp över disk". Uppgången har varit jämn och stadig. Orsaken är nog främst att de två befolkningsrikaste länderna i världen, Kina och Indien har haft en positiv utveckling av den allmänna levnadsstandarden och denna väntas fortsätta. Med ökad levnadsstandard följer oundvikligen ökad energiförbrukning. Kärnkraftens andel i den globala elproduktionen är för närvarande 16 procent. Kina och Indien satsar på utbyggnad av lättvattenreaktorer vilka kräver mycket uran för sin drift. För närvarande finns omkring 450 arbetande kärnkraftverk i världen. Kina och Indien planerar att ha ytterligare 50 anläggningar i drift år 2020.

## Uranförekomster generellt

I all prospektering gäller att hitta 1) lämplig källa för metallen, 2) lämplig miljö för upplösning och transport, 3) lämplig miljö för avsättning av metallen. Men liksom för guld sägs det att "uran finns där man hittar det". Emellertid sneglas det hela tiden på vissa geologiska miljöer som har visat sig kunna innehålla stora koncentrationer av uran. Vad som anses vara gynnsamma miljöer har varierat med åren allteftersom man hittat nya stora malmer. En grov ranking av de malmtyper som just nu kan anses vara de ekonomiskt mest intressanta kan se ut som följande:

- 1) Unconformity (Kanada, Australien)
- 2) Sandsten (USA, Kazakstan)
- 3) Komplex hematitbreccia (Australien)
- 4) Kvartskonglomerat (Sydafrika, Kanada)
- 5) Gång och spricktyp (Tjeckien)
- 6) Intrusiv (Namibia)
- 7) Vulkaniter (Ryssland)
- 8) Metasomatiska (Ukraina)
- 9) Cal-, sil, phos-crete (Australien, Namibia)





Så kallad Yellow cake,  $U_3O_8$

I Sverige finns alla dessa typer representerade utom nr 8 som bara förekommer i arid miljö. Oftast utgörs en mineralisering av en kombination av flera typer. Flera skandinaviska graniter håller bitvis uran-halter upp till 30 ppm. Många uranmalmer anses ha sitt ursprung i just sådana graniter. En mycket stor del av uranet i Sverige förekommer annars i lågmetamorfa svarta skiffrar och fosfatiska sediment. Uranhalten är dock låg, oftast under 0,03 procent uran. Emellertid är just nu intresset stort för dessa, på grund av det allt dyrare uranet, i kombination med att effektivare och billigare utvinningsmetoder har utvecklats (exempelvis in situ-lakning). Dessutom innehåller sedimenten förhöjda halter av kol, kolväten, vanadin, molybden, och nickel.

En vanlig men ändå annorlunda potentiell urankälla är havet. Världens hav innehåller i genomsnitt 0,003 ppm uran. Detta beror på att uran är lösligt och helt enkelt rinner ut i haven med floderna. Japan, som har många kärnkraftverk men inget eget uran, forskar mycket kring utvinning av uran ur havsvatten. Metoden bygger på att uranet, och andra metaller som vanadin, fångas upp av en adsorbent som sänks ner i havsvattnet. Japanerna har ständigt sänkt kostnaden för utvinning och är nu nere på cirka 400 USD/lb  $U_3O_8$ . Betänk att spotpriserna har på fyra år stigit från 15 USD/lb till 135 USD/lb. Så småningom möts antagligen de två kurvorna.



Uranförande alunskiffer i fjällranden.



Gulorange sekundära uranmineral, Pleutajock.

## Uranreserver/produktion

Det internationella atomenergiorganet, IAEA, tillsammans med OECDs atomenergiorgan, NEA, sammanställer världens tillgångar, produktion och kommande behov av uran. Detta publiceras vartannat år i vad som kallas "the red book". Den senaste gäller för år 2005. De globala reserverna delas in i fyra kategorier. Det handlar dels om rimliga respektive antagna reserver, tillsammans 4,7 miljoner ton, samt prognostiserade och spekulativa reserver, tillsammans 11,8 miljoner ton. (Siffrorna är angivna utifrån en uppskattning om att tillverkningskostnaden är 130 dollar per kilo uran) Den årliga globala uranproduktionen från gruvor är omkring 41 000 ton uran. Den årliga globala konsumtionen av uran är omkring 67 000 ton uran. Grubrytningen tillgodoser med andra ord 61 procent av konsumtionen. Cirka 15 procent tas från militära lager och resten från civila lager, bland annat genom upparbetning av använt kärnbränsle. De militära lagren har till stor del hittills kommit från Ryssland. Denna källa håller på att sina och det finns dessutom en stark tendens till att varje land börjar värna om sina energiråvaror.

## Svensk uranverksamhet före 1968

Den svenske geologen Adolf Erik Nordenskiöld rapporterade år 1893 fynd av uran från kolm, en uranhaltig kolsubstans, vid Billingen. Provet lär ha kommit från ett kalkstensbrott i Karlsro. Som ett resultat av att vetenskapen fann att den radioaktiva strålningen har vissa läkande egenskaper, påbörjades prospektering efter uran. Sveriges första uran–radium gruva öppnades 1905 vid Lilla Stolan i Norra Billingen av det så kallade Kolmbolaget. Kolmen fraktades till Stockholm för anrikning av radium. Emellertid tycktes kolmen vara av dålig kvalitet och bolaget gick i likvidation år 1915. Under många år därefter låg uranprospekteringen nere, men i samband med de första atombomberna ökar intresset på nytt. Långt in på 1960-talet pågick en debatt om huruvida Sverige skulle satsa på atomvapen eller inte. Vid Farsta byggdes Ågestareaktorn som var i bruk 1963–1974. Med svenskt uran från Billingen kunde man undvika internationellt beroende och restprodukten plutonium skulle gå att använda i vapen. 1947 bildades AB Atomenergi som till största delen ägdes av staten. Syftet var att samla expertis inom hela kärnkraftfältet för att få synergi. Bolaget satsade även på uranprospektering, i början i konkurrens med andra svenska bolag som exempelvis Johnson.

AB Atomenergi kom att koncentrera sig på uranet i Billingen. Men omfattande arbete utfördes även på kalkgrävacka i Täsjö, en myr utanför Masugnsbyn och på vissa radioaktiva järnmalm i Bergslagen. Johnsonbolaget satsade på Västervik med omnejd. Borrningar under 1950-talet runt Billingen visade att området kring Ranstad har den bästa större sammanhängande mineraliseringen. Förundersökningen identifierade en kropp innehållande 0,03 procent uran, uppskattningsvis 60 000 ton uran. Totalt beräknades Billingen innehålla 900 000 ton uran varav 300 000 ton ansågs vara möjligt att utvinna. Övriga alunskiffrar i södra Sverige uppskattades innehålla ytterligare en miljon ton uran i vissa fall i halter upp till 0,02 procent. Indikationer fanns på lika mycket uran i de sporadiskt undersökta alunskiffrarna i fjällen.

Provbrytningen i Ranstad skedde i två projekt. Den första genomfördes 1965–1969 med på den tiden konventionell anrikning. 120 ton uran framställdes men utbytet var endast 60–70 procent och projektet övergavs. I slutet av 1970-talet inleddes ett samarbete mellan LKAB, Boliden och Studsvik för att pröva en ny anrikningsmetod. Denna gång blev utbytet tillfredsställande, 80–85 procent. Tidsandan tvingade emellertid fram nedläggning av gruvverksamheten.

## SGUs prospektering

1968 överfördes den statligt finansierade uranprospekteringen från AB Atomenergi till Sveriges geologiska undersökning, SGU, som kom att satsa mer på höghaltiga uranförekomster. De visade sig uppträda i huvudsak i granitoider. Till stor hjälp var resultaten från den reguljära geokemiska provtagningen vid SGU samt de geofysiska flygmätningar som utfördes. 1974 började SKBF, Svensk Kärnbränsleförsörjning AB, lägga årliga beställningar av uranprospektering inom

större delen av mellersta och södra Norrland. Av de uranmineraliseringar i Norrland, som framkom under SGUs prospektering får Lilljuthatten, Björkråmyran och Pleutajokk anses vara de bästa. 1976 överfördes uranfyndigheten Pleutajokk till LKAB för provbrytning och gruvprojektering samt fortsatt prospektering i närområdet.

SGU tog under 1970-talets början även upp prospekteringen, påbörjad av Johnsonbolaget, i Västervik redan på 1950-talet. Totalt runt 85 stycken, oftast små uranmineraliseringar lokaliserades i området kring Västervik–Gamlestad–Olserum.

1979 upphörde den statsbudgetfinansierade uranprospekteringen och SKBF blev ensam uppdragsgivare. Några år senare aviserade SKBF att man tänkte upphöra med uranprospektering. De kommande fyra åren minskade uppdragen successivt och de fick mer karaktär av dokumentation än prospektering för att helt ta slut under 1986. (1982 hade prospekteringsverksamheten vid SGU överförs till det statliga bolaget Sveriges Geologiska AB, SGAB).

## Hur mycket finns i Sverige?

2005 redovisades Sveriges totala uranreserver vara 4 000 ton uran. Ytterligare 6 000 ton uran i samma kategori ansågs vara möjliga att hitta. Men från 2005 fram till idag har uranpriserna tredubblats. Synen på vad som kan anses som utvinnbart har i och med detta dramatiskt förändrats. Detta medför också att uranet i våra alunskiffrar i södra Sverige samt fjällranden rimligen borde räknas in som reserver i nästa "red book". I Ranstad har som sagt var uppskattats 60 000 ton uran. 300 000–900 000 ton uran kan finnas i hela Billingen. Dessutom finns mindre undersökta alunskiffrar i södra Sverige och framför allt i fjällranden.

---

*BOSSE GUSTAFSSON bergundsgeolog, verksam vid uranprospekteringen i Sverige 1969–1981. Prospekterade guld och basmetaller 1982–1992. Verksam vid SGUs mineralkontor i Malå 1992–2005. Från 2006 prospekteringschef gällande uran, vid australiensiska företaget Murchison United.*

## REFERENSER

- Cameco Corporation: [www.cameco.com](http://www.cameco.com)
- Gudowski, W., 2006: *Ny kärnteknik: Nya reaktorer och transmutationsteknik för framtida kärnkraftverk*. Seminarium IVA, Kärnkraft bränsle och avfall. 2006-09-07.
- Hessland, I., Armands, G., 1978: *Alunskiffer. Underlagsmaterial Geologi*. SIND, PM 1978:3.
- Kullander, S., 2006: *Uran ur havsvatten*. Seminarium IVA, Kärnkraft bränsle och avfall. 2006-09-07.
- OECD-IAEA, 2006: *Uranium 2005: Resources, Production and Demand*. ("the red book").
- Oliver, L., Peterson, J., Wilhelmson, K., 2006: *Urankonvertering*. SKI Rapport 2006:08.
- SGU: Mineralkontorets arkiv i Malå.
- Thunholm, B., Lindén, A., Gustafsson, B., 2005: *Concentrations of Uranium, Thorium and Potassium in Sweden*. SSI rapport 2005:04.
- Uranium Information Centre: [www.uic.com.au](http://www.uic.com.au)
- World Nuclear Association: [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org).

**15-16 september** Geologins Dag invigs i år i LKAB:s gruva i Kiruna den 15 september. Den 16 september finns arrangemang i hela landet, vända mot allmänheten. [www.geologinsdag.nu](http://www.geologinsdag.nu)

**16-20 september** Georesurser och samhällspolicy, Forskning, management och miljö. (Georesources and public policy. Research, management, environment). Tallin, Estland. [www.maegs15.org](http://www.maegs15.org)

**Öppna föreläsningar** vid Stockholms universitet. Seminarierna är öppna för alla:

– 3 oktober: Kan havets alger bromsa smältningen av istäcket vid Nordpolen? Caroline Leck, Meteorologiska institutionen, SU, kl 14-15, Aula Magna, Frescati. Fri entré.

– 7 november: Industri och internationell maktkamp i Arktis och Antarktis, 1600 – idag. Dag Avango, KTH, kl 14-15, Aula Magna, Frescati. Fri entré.

– 5 december: Arktis klimathistoria: vad vet vi? Martin Jakobsson, Institutionen för geologi och geokemi, SU, kl 14-15, Aula Magna, Frescati. Fri entré.

**16-19 december** the Palaeontological Association håller sitt 51:a årliga möte vid Uppsala universitet. [www.palass.org](http://www.palass.org)

**7-10 januari 2008** 28:e Nordiska geologiska vintermötet i Aalborg, Danmark. Mer att läsa på Aalborgs universitets hemsida [www.civil.aau.dk/ngwm/](http://www.civil.aau.dk/ngwm/)

★ Google Earth har blivit ett kraftfullt verktyg som används inte bara av nyfikna medborgare världen över som vill veta mer om hur Jorden ser ut, ovanifrån. Forskare, myndigheter och företag använder sig av programmet – med en rad olika tillämpningar. Till exempel har stadsplanerare i danska staden Aalborg med hjälp av 3d-verktyget Sketchup (laddas ner gratis via Googles hemsida) lagt ut en 3d-modell av Aalborgs stadskärna – som kan granska i Google Earth.

Och just nu pågår en förstudie i svenska Umeå, kring möjligheterna att lägga ut stadens stadsplanering på Internet. Detta som ett sätt att vidga och utveckla kommunikationen med medborgarna i frågor som rör stadsplaneringen. Fakta [www.nyteknik.se](http://www.nyteknik.se)

## En ny generation satellitbilder

Med hjälp av förbättrad bildbehandlingsteknik presenterar NASA "Blue Marble: The next generation", – en strid ström av nya digitala satellit bilder över Jorden.



Detaljrikedomen i bilderna är större i den nya generationens bilder från NASA. Här snötäcket i Alperna, januari respektive juni 2006. NASAs jordobservatorium, av Reto Stockli.

**B**lue-Marble hette NASAs första riktigt detaljerade bild över jordklotet, återgiven med naturtrogna färger (eng. *true-color*). Blue Marble kom ut 2002 och var en sammanfogad bild av processad data, framtagen av satelliten Terra under fyra månaders tid. Den nya generationens bilder är ännu bättre, uppger NASA. Mörka

ytor, som skogar, återges bättre utan att för den sakens skull minska graden detaljrikedomen i ljusa ytor som öknar, glaciärer och snötäcke. Många fantastiska bilder över vår Jord går att se, och ladda ner, via [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

P.S NASA:s rymdbilder är såklart också trevliga! D.S

★ Betong, som består av ballast, vatten och bindemedel, är ett användbart material och verkligen på modet. Desiginföremål gjuts i betong, såsom stolar, ljusstakar med mera. Även som skulpturmaterial kommer betong till användning. Och världens gissningsvis till ytan största betongskulptur har nyligen invigts. Mitt i Berlins innerstad, mitt emellan Potsdammer Platz och Brandenburger Tor, står sedan i våras 2 711 betongblock i olika storlek uppställda. Blocken är symmetriskt ordnade, och står utställda på en yta som är lika stor som tre fotbollsplaner. Den labyrintliknande betongskulpturen, innuti vilken besökare kan vandra, är rest som en förintelsemonument över Europas judar. Invigningen var i maj.



# 900 mineral i fickformat

En systematisk beskrivning av svenska mineral – för mineraljägare och andra som vill veta mer om vad som finns i den svenska berggrunden.

**Vetenskapen känner** idag till cirka 4 200 olika namngivna mineral på jorden. Av dessa har nästan 900, en femtedel, påträffats i vårt land. Detta avspeglar dels den stora diversiteten i Sveriges geologi, dels det faktum att upptäckter ständigt görs, en verksamhet där även amatörer spelar en viktig roll. En ny bok, som främst vänder sig just till amatörgeologer och privat-samlare, är *Mineral i Sverige*. Det är en helt omarbetad version av en tidigare bok med samma titel från 1985 (som innehöll bara drygt 500 olika mineral).

Inledningsvis beskrivs mineralsamlande och mineralogi i allmänhet, men cirka 150 av de drygt 200 sidorna består av mineralbeskrivningar, som är bokens centrala del och ger den sitt existensberättigande.

Uppställningen är systematisk och bygger på modern klassifikation (Strunz-Nickel), dock bildar boraterna inte en egen klass, vilket infördes 2001. Klokt nog är det olika nivåer av detaljrikedom på beskrivningarna beroende på de enskilda mineralens sällsynthetsgrad.

Författarna har helt klart haft ambitionen att boken ska vara så heltäckande som möjligt, och det har man lyckats ganska väl med. Även beskrivningar som bara återfinns i mindre lättillgängliga publikationer och databaser är upptagna, och förteckningen förefaller vara uppdaterad med fynd som gjorts fram till och med 2006. Enstaka upptäckter kan av olika skäl ha hållits hemliga och är av den orsaken inte rapporterade.

Man förefaller ha avstått från att rapportera mineral som omtalats, men där identifieringen varit dubiös. Detta kan inte nog berömmas! Frestelsen att göra listor maximalt långa har visat sig vara alltför stor i liknande sammanhang.

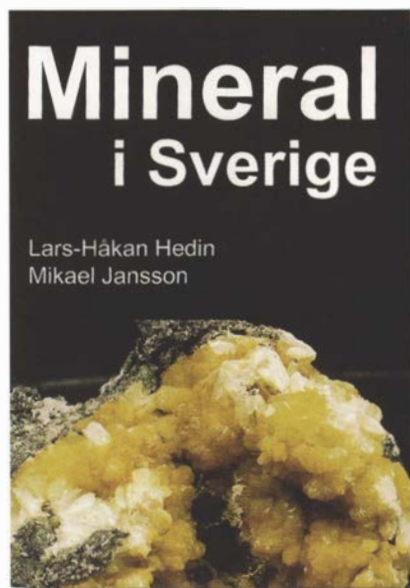
**Författarna har den vällovliga inställningen** att vilja anpassa mineralnamnen till svensk form (originalreferenserna är ju som regel på engelska). Tyvärr har det inte fullföljts till 100 procent. Koboltkieserit vore att föredra framför cobaltkieserit; fenakit och klinohumit hellre än phenakit och clinohumit, etc. Amfibolerna benämns just så i de allmänna kapitlen, men kallas amphibolgruppen i den systematiska delen...

En fälthandbok av det här slaget bör inte bli för omfångsrik, och därför är beskrivningarna kortfattade, vilket är rimligt. Man kunde dock ha skapat plats för fler data genom att ta bort en del onödiga upprepningar. Vid varje mineralnamn anges den kemiska sammansättningen, med formel och i klartext; det borde ha räckt med formlerna. Dessutom används för lokalbeskrivningarna standarduttryck som "förekommer i", "finns som", etc. I en bok av fickformat skulle det kunna vara en mer telegramartad stil, där sådant är underförstått. En sak som man skulle kunna önska sig att få med i en framtida upplaga är en notation om typmineral – för cirka 150 mineral är ju materialet till originalbeskrivningen svenskt.

**En annan synpunkt** gäller fyndorterna. *Mineral i Sverige* använder sig av landskapen för den geografiska informationen. Det har ju den uppenbara fördelen, som botanister med flera brukar framhålla, att den medeltida indelningen av landet är oföränderlig och opåverkad av politiska nycker. Lika uppenbar är dock nackdelen att vägskyltar och moderna kartor oftast saknar den informationen; förvirrande, inte minst för utländska besökare. Kommun- och länstillhörighet vore värdefulla komplement (liksom koordinater för GPS-användare).

Boken är prisvärd och kan rekommenderas till alla som vill ha en nära nog fullständig och systematisk lista över Sveriges kända mineral, med beskrivningar av de viktiga fyndlokalerna, och i ett praktiskt format. Tyvärr misslyckades trycket av sidorna med färgbilder i den första upplagan. Förlaget har dock låtit göra ett omtryck med bättre resultat, och ett särtryck med mineralbilderna går att få på begäran.

/ DAN HOLTSTAM docent i mineralogi.



*Mineral i Sverige* är skriven av Lars-Håkan Hedin och Mikael Jansson, utgiven på Förlags AB Björnen, 2007. 224s. Cirka pris 200 kr.

# Geovetenskap i skolan = sant?

**G**eologi i skolan är ett återkommande diskussionsämne. Idag är inte geologi något eget skolämne i Sverige, det som läses på grundskola och på gymnasienivå ryms inom geografi och naturkunskap. Många anser att geologi bör få betydligt större utrymme, inom ramarna för dagens skola, medan andra vill införa geologi som ett helt eget skolämne. Det finns även åsikter om att geologi skulle ingå i de naturvetenskapliga skolämnena, istället för i geografiämnet.

Frågan försvåras av konkurrensen med andra ämnen som också kräver uppmärksamhet i dagens skola, samt av svårigheterna att locka ungdomar till naturvetenskap, generellt sett. Skolan förändras också ständigt och nya regeringar ändrar förutsättningarna med nya läroplaner och lärarutbildningar.

Hur ska man tackla detta? Självklart bör geologin få ökad roll i skolan och i mycket högre grad än idag komma in i undervisningen. Geologi har stark koppling till generella miljö- och resursfrågor och därmed finns också en naturlig ingång till många av skolans klassiska ämnen som historia, samhällsvetenskap, geografi och så vidare. Därför vore det synd om geologi bara vore en angelägenhet för de naturvetenskapliga ämnena.

**P**roblemen börjar delvis i lärarutbildningen, där det främst är de som läser till lärare i geografi som får kurser i geologi. Blivande lärare i naturvetenskap borde få med geologi i sin utbildning, men att de gör det är faktiskt ingen självklarhet. Ofta finns inte utrymme för att välja geologi, om de ska kunna fullfölja sin utstakade utbildning. Den som ändå läser geologi gör det många gånger efter ordinarie utbildning eller som ytterligare kurs. Om geologi hade varit ett eget ämne på gymnasieskolan – hade lärarutbildningen definitivt

sett annorlunda ut!

Problemen fortsätter sedan "nedåt" i systemet, med följden att många elever går ut gymnasiet idag, med väldigt liten kunskap om geologi.

I dagens gymnasieskola ryms som sagt var geologi i geografiämnet och det är OK. Men jag anser att en fördjupning i geologi också bör utvecklas inom de naturvetenskapliga ämnena. Till detta tror jag dessutom att geologin har mycket att vinna på en bredare integration i övriga skolämnena, som tidigare nämnts just på grund av sin tvärvetenskapliga karaktär och praktiska tillämpning i samhället.

**S**å som skolan är utformad idag, tror jag framför allt att geologins vara eller icke vara, till stor del styrs av den enskilde lärarens intresse och kunskaper. Det finns naturvetarlärare som för in geologi i sitt ämne och det finns geografilärare som gör stora insatser för att lära sina elever geologi. Här ligger också, som jag ser det, en del av den omvända problematiken för geologins chans att få någon som helst roll i skolan – att ta tillvara på läraren som resurs, vilket jag anser är nyckeln till ökat utrymme i skolan!

Faktum är att för den lärare som vill utveckla sin undervisning inom geologiområdet, råder det *stor* brist på hjälpmedel och handledning. Det handlar inte bara om att det finns ett behov av bra litteratur, utan det krävs en stor samlad insats från geologins sida med brett resursutbud. Visserligen finns det exempelvis kurser som passar lärare som vill lära sig mer, men ofta måste lärare studera på egen fritid och utan speciell ersättning från skolan. Läraren måste få stöd!

Det bör också utarbetas ett brett undervisningsmaterial om geologi som kan användas i skolan så som den ser ut idag! Detta material kan samtidigt vara underlag för fortsatt

diskussion om hur geologin ska öka sin betydelse i skolan och man kan med fördel titta på hur man hanterar frågan i andra länder. (Reds. anm. i Norge är geologi enligt en alldeles ny läroplan för gymnasieskolan, numera ett eget skolämne. I samarbete med lärarkåren har Norges geologiska undersökning även erbjudit fortbildning i geologi för gymnasielärare, exempelvis i form av exkursion till Svalbard. I Danmark har forskare vid Danmarks Rumcenter och GEUS, De nationella geologiska undersökningarna för Grönland och Danmark, tagit fram ett utbildningsmaterial som gratis kan användas i skolundervisningen, mer att läsa på [www.geus.dk](http://www.geus.dk) klicka på länken *Geologi for Alle*).

En samlad nationell satsning är nödvändig för en lyckad utgång i frågan om hur våra barn och ungdomar ska få bättre kunskaper i geologi. Nog klarar geologerna i Sverige med sin förmåga till kreativitet och nytänkande att hantera detta!



/ **MAGNUS HELLQVIST** är arkeolog och fil. dr i kvartärgeolog, universitetslektor vid Högskolan i Dalarna samt ordförande för Geologsektionen av Naturvetareförbundet.



Geologiska Föreningen  
Institutionen för geologi och geokemi  
Stockholms universitet  
106 91 Stockholm

## GEONYTT

På denna sida upplåter Geologiskt forum kostnadsfritt plats för information som är relevant för föreningens medlemmar eller en geointresserad allmänhet. Har du något du vill tipsa om – hör av dig till redaktionen senast 1 november. Nästa nummer av tidningen kommer ut i december 2007.

## GEOLOPPIS

SÄLJES Gamla häften av GFF, i huvudsak från 1872 till 1930, till salu. Kontakta: aksel1@home.se, eller 0920-974 12 för mer info.

KÖPES Polarisationsmikroskop, gärna äldre. Ring Tommy på telefon 0371-30029, alt. 0371-50315.

## BLI STÖDPRENUMERANT

Från och med i år erbjuder Geologiska Föreningen företag och organisationer en möjlighet att vara med och stötta utgivningen av Geologiskt forum. Stödprenumeranter får exponering i tidskriften varje nummer samt syns på föreningens hemsida. I prenumerationen ingår tre exemplar av tidningen varje nummer. Priset är 3 000 kronor per år. Är ditt företag intresserat? Hör av dig till Anna Kim-Andersson, tel 0708-205010, e-post: anna@qi-media.se eller info@geologiskaforeningen.nu

Geologiskt forum presenterar nuvarande stödprenumeranter på sidan 8 i tidningen.

## VÄLKOMMEN TILL VÅR HEMSIDA

Har du sett vår nya hemsida? Kika gärna in!  
[www.geologiskaforeningen.nu](http://www.geologiskaforeningen.nu)

Annons:

KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN  
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

IVA  
KUNGL. TEKNISKA HÖGSKOLEN  
Royal Institute of Technology

BERG \* JORD \* LUFT \* VATTEN

**Lördag 15/9 2007**  
Massor av roliga aktiviteter för alla åldrar  
från Falsterbo i söder till Kiruna i norr.

**GEOLIGINS DAG**

Prova-på-övningar  
Utställningar  
Vulkaner  
Bildspel  
Mineral  
Föredrag  
Tipsrundor  
Guldvaskning  
Ta med din sten

Hitta evenemang nära dig:  
[www.geologinsdag.nu](http://www.geologinsdag.nu)

Naturhistoriska riksmuseet

SKB  
Svensk Kärnbränslehantering AB

SGU  
Sveriges geologiska undersökning

## Energicitatet

"You see, we should make use of the forces of nature and should obtain all our power in this way. Sunshine is a form of energy, wind and sea currents are manifestations of this energy. Do we make use of them? Oh no! We burn forests and coal, like tenants burning down our front door for heating. We live like wild settlers and not as though these resources belong to us."  
– Thomas A. Edison, 1916