

GEOLOGISKT FORUM

NR 53 MARS 2007
ÅRGÅNG 14

Golfströmmen är trög

En gång var "snöbollsorden"

När forskarna får is att tala

TEMA: Jordens klimat



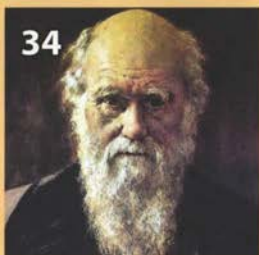
6



10



23



34

INNEHÅLL nr 53 mars 2007

NYHETER OCH REDAKTIONELLT

Crafoordpriset i Geovetenskaper 2006.	SIDA
Jorden i alla väder. Vinnare i fototävlingen.	3
Tävlingen där allmänheten letar mineral.	4-5
Oceanförsurning – nytt hot mot världshaven? Mikael Calner.	6
Allvar i ICCP:s nya rapport.	7
Ökad nederbörd påverkar markstabiliteten.	8
Röster om framtidens klimat.	9
Fråga Geologiskt Forum. Frågor och svar om Jordens klimat.	22
Filmrecension: En obekvämt sanning.	36
Kalendarium och notiser.	37
Bokrecension: Plows, plagues & petroleum.	38
Sista ordet: Geovetenskapen viktig i klimatfrågan.	39
Geonytt om årsmöte, nya hemsidan och stödprenumeranter.	40

ARTIKLAR & REPORTAGE - TEMA KLIMAT

Klimatet under kvartärtiden – vinglig resa, många förare.	10-15
Svante Björck och Mats Rundgren.	
Koldioxid, kosmisk strålning och Jordens globala klimat.	16-18
Mikael Calner, Vivi Vajda, Stephen McLoughlin.	
Golfströmmen är trög. Anders Stigebrandt.	19-21
När forskarna får is att tala. Aant Elzinga.	23-25
En gång var "snöbollsjorden". Pär Weihed.	26-29

ARTIKLAR & REPORTAGE - ÖVRIGT

Databas över geovetenskapligt värdefulla lokaler i Sverige.	30-33
Gunnel Ransed. Lars Karis, Sven Lundqvist, Linda Wickström.	
Hur gammal är jorden och hur vet vi det? Mats E. Eriksson.	34-35

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

Populärvetenskaplig redaktör: Anna Kim-Andersson
tel 0708-205010, e-post: 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; www.geologiskaforeningen.nu

Omslagsfoto: Torbjörn Karlin. Borrning av firnkärna, Antarktis
säsongen 2005-2006.
Upplaga: 2 300 ex. Tryckeri: Masala media/Vettertryck
Ordinarie lösnummerpris: 50 kr

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

ISSN 1104-4721

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.

Redaktionsråd: Jan Bergström, Holger Buentke, Christer
Carlberg (Hallands geologiklubb), Ingemar Cato, Lage Karlsson,
(Upplands Geologiska Sällskap), Antti Hulterström (Västerbottens
Amatörgeologer), Jörgen Langhof, Erik Mofjell (Göteborgs
Geologiska Förening), Erik Sturkell, Barbara Wohlfarth, Per Wretling
(Bergslagens Geologiska Sällskap).



Geovetenskapens Nobelpris till geokemist

Crafoordpriset i geovetenskaper 2006 delas i år ut till geokemisten Wallace S. Broecker, professor i geo- och miljövetenskap vid Columbia University, USA. Han får priset för "sin innovativa och nydanande forskning om den globala kolcykeln inom hav-atmosfär-biosfärsystemet och dess samverkan med klimatet".

Professor Wallace S. Broecker har ägnat sitt liv åt en beundransvärd forskargärning och bidragit med många både nya och viktiga insikter om vår Jord. Broecker har bland annat lagt stora bitar i det kunskaps pussel som handlar om den globala kolcykeln. För 35 år sedan införde han en flödesmodell för hur havsvattnets kemiska sammansättning påverkas av samverkan mellan hav, atmosfär och biosfär. Tidigare trodde man att havsvattnets kemiska sammansättning enkom berodde på kemiska jämnviktsprocesser. Hans forskning har även bidragit till förståelsen av hur halten av koldioxid i atmosfären är kopplad till havsvattnets kemi.

Redan på 1960-talet började Broecker studera klimatförändringar i Jordens historia, bland annat med hjälp av data från borrhälsar från isarna på Grönland och Antarktis. På 1980-talet var han långt före sin tid när han föreslog att klimatförändringar i jordens

historia ofta varit mycket snabba och kopplade till förändringar i de globala havsströmmarnas rörelsemönster.

Apropå den idag så aktuella klimatfrågan anser Broecker att det till exempel inte är sannolikt att djupvattencirkulationen i Nordatlandet kommer att stanna på grund av dagens utsläpp av koldioxid i atmosfären – men att den kan bli försvagad. Pristagaren förspår försiktighetsprincipen gällande utsläppen av växthusgaser, samtidigt som han betonar att vi fortfarande saknar detaljerad kunskap om mekanismerna bakom det globala klimatet. Människans utsläpp av växthusgaser kan med andra ord ge effekter som vi inte ens har möjligheter att förutse idag.

Crafoordpriset i geovetenskaper 2006 delas ut tillsammans med 2007 års Crafoordpris i Biovetenskaper, av Kungliga Vetenskapsakademien. Ceremonin går av stapeln den 26 april 2007 i Lund, i närvaro av H.M. Drottningen. Prisen är vardera på 500 000 USD. Broecker får därmed motsvarande cirka 4,5 miljoner svenska kronor.

Källa: Kungliga Vetenskapsakademien.
www.crafoordprize.com.

75-årige Wallace S. Broecker är en engagerad forskare, lärare och författare. Som expert har han bland annat varit kallad till Vltas huset för att delta i flera "hearings" gällande klimatfrågan. Foto: Kungliga Vetenskapsakademien.



Får geovetenskapen mer pengar?

Viss är klimatet ett stort problem, men ett problem som går att lösa genom politisk handlingskraft och fortsatt forskning. Det sade forsknings- och utbildningsminister Lars Leijonborg vid ett seminarium om FN:s nya klimatrapport för en månad sedan. Åhörarskan var stor, mer än 600 personer hade samlats i Aula Magna vid Stockhoms universitet för att "live" få höra svenska forskare berätta om vad FN:s klimatpanel, IPCC (se även sidan 7) kommit fram till. Många forskare var där. Myndigheter. Representer för miljöorganisationer och politiska partier. Privatpersoner. Även H&M fanns på plats. Volvo. McDonalds. E.ON. Vattenfall. Holmen. Försäkringsbolagen. Alla var nog där för att få höra om egna öron. Klimathotet – bluff och båg? Nej! Bevisen för att antropogena utsläpp av växthusgaser faktiskt påverkar Jordens klimat igår, idag och imorgon, på global nivå, blir allt mer övertygande. Det rådde ingen större tvekan bland föreläsarna på podiet.

– Arbetet med att lösa klimatfrågorna ska bygga på vetenskaplig grund, forskningen är nyckelfaktorn i vår klimat- och miljöpolitik. Det är politisk handlingskraft baserad på god forskning som ska avvärja klimathotet, sade Lars Leijonborg och i samma andetag utlovade han mer pengar till forskning om miljö, energi och klimatpåverkan.

Stilla undrar jag om

grundforskning och tillämpad forskning inom geovetenskapens områden kommer att få del av potten. Denna kompetens behövs i samhället. Inte minst framgår det av alla spännande artiklar i detta vårnummer av Geologiskt forum.

/ Anna Kim-Andersson,
populärvetenskaplig redaktör



Jorden i alla väder

Geologiskt forum utlyste en fototävling i förra numret på temat: Jorden i alla väder. Här presenteras de vinnande bidragen, båda med vinterkänsla.

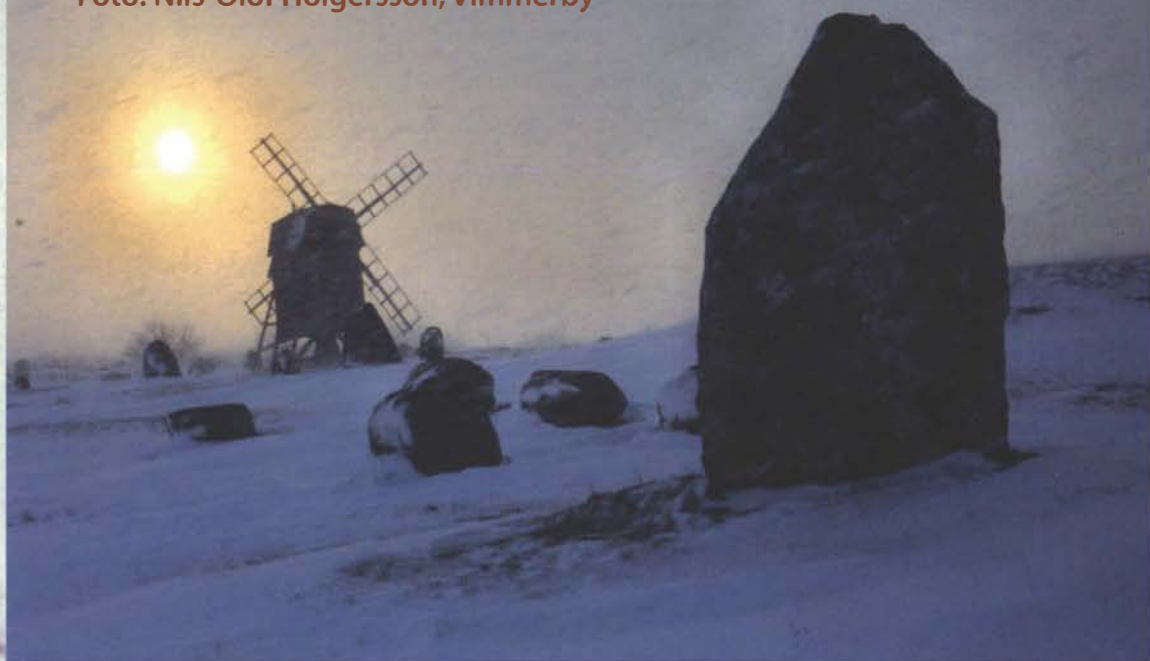
Bilden **Snöväder över södra Öland** vann med motiveringen: Öland så som vi inte brukar se se det. Ett svenskt kulturlandskap, tillika ett område med intressant geologi, fångat i ett fruset vinterögonblick. För sin spännande komposition där ljus och värme men även mörker och kyla finns med. Visst känner man hur snön piskar mot ansiktet!

Hederspris: **Snö, is, sol, dis.** Jordens väder betraktat från högre höjd. Med markkänsla fast ovan molnen. Bilden är tagen nära toppen av Mont Blanc. Ett mycket vacker foto med härligt ljus.

Nils-Olof Holgersson får tillsänt sig ett presentkort på böcker om 150 kronor som vinst och som hederspris erhåller Erik Ogenhall boken Snäckan i berget.

VINNANDE BIDRAG

Foto: Nils-Olof Holgersson, Vimmerby





HEDERSPRIS
Foto: Erik Ogenhall, Uppsala

Tävlingen där allmänheten letar mineral

"Fynd av kraftigt rostvittrat, sprickig gråvacketyt med blyglans och mindre ansamlingar av kopparkis delvis också goda halter av zinkblände i undre delen av blocket. Spår av malakit förekommer."

Ovanstående är en beskrivning av det fynd som förstapristagarna i Västerbottens län redovisade i tävlingen mineraljakten 2006. Totalt granskade och dokumenterade tävlingen jakten sammanlagt 1157 prov under året och en direkt följd är att minst åtta nya undersöknings-tillstånd kommit till stånd.

Norrlands mineraljakt har anordnats sedan 1967 och har som syfte att med allmänhetens hjälp leta reda på nya mineralförekomster, som kan undersökas, utvinnas, och förädlas och därmed bidra till ökad sysselsättning och ekonomisk utveckling. 2006 omfattade mineraljakten de fem nordligaste länen och arrangörer var Georange, länsstyrelserna i Norrbottens län, Västerbottens län, Jämtlands län, Västernorrlands län, Gävleborgs län och Sveriges geologiska undersökning.

Resultaten från mineraljakten delas in länsvis, plus ytterligare en klass där Norrlandsfonden varit med och sponsrat priset. Boliden Mineral AB premierar också de bästa fynden från varje län.

En utförlig sammanställning över 2006 års alla pristagare och mer information om mineraljakten finns på SGUs hemsida:

www.sgu.se/naturresurser/mineraljakten.

Rättelse

I artikeln *Grängesberg - en järnmalmes uppgång och fall* i Geologiskt forum nr 52, slank det in ett räknepå sid 17. Den rätta uppgiften är att Grängesbergsmalmen givit 900 miljoner ton rent järn och inget annat.

Oceanförsurning – nytt hot mot världshaven?

Forskare räknar i dag med att omkring en tredjedel av de antropogena koldioxid-utsläppen har tagits upp av världshaven.

Världshaven kan stå inför ett nytt miljöhot, nämligen oceanförsurning (eng. ocean acidification). Problemet är lika enkelt som allvarligt: När koldioxid löses i vatten bildas kolsyra enligt reaktionen $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$. Kolsyran i sin tur sänker havens pH och gör havsvattnet korrosivt vilket bidrar till upplösning av kalciumkarbonat.

Flera av världshavens primärproducenter, som är basen för näringskedjorna, bygger sina skal av just kalciumkarbonat. Så är till exempel fallet med mikroskopiska alger och vingsnäckor. De lever ett planktiskt liv i oceanernas solbelysta ytskikt och kan utsöndra sina skal just för att havsvattnet i dessa högre skikt är övermättat med avseende på kalciumkarbonat.

Traditionellt har man ansett att oceanernas pH är oföränderligt eftersom frigörandet av kalciumkarbonat från sedimenten över geologiska tidsperspektiv buffrar och neutraliserar den koldioxid som tas upp. Nu överskrider tillförseln av koldioxid långt oceanernas buffringskapacitet och det gör att kalkskalet hos de planktiska organismerna börjar lösas upp.

En internationell forskargrupp ledd av James C. Orr har i en studie visat att ett flertal marina organismer, speciellt vissa plankton på höga latituder, kan få det betydligt svårare att bilda

skal inom mindre än hundra år. Liknande studier har gjorts även i nordiska farvatten.

Under våren 2006 studerade ett forskarlag lett av Ulf Riebesell fenomenet i en av Norges fjordar. De använde sig av stora säckar fyllda med havsvatten och miljontals kalkskaliga plankton. Havsvattnet i säckarna utsattes för koldioxidnivåer motsvarande dagens, dubbla dagens och tredubbla dagens nivåer. Efter fem veckor studerade man skalstrukturen med hjälp av svepelektronmikroskop och kunde konstatera att den redan var tunnare och mer skör i säckarna med höga koldioxidnivåer.

Prognosen blir dystur. Om världshavens vattenkemi förändras till den grad att organismers förmåga att utsöndra kalkskal radikalt minskar står vi inför en helt ny typ av global miljöproblematik med stora ekosystemförändringar – eller till och med utdöenden i haven som följd.

/MIKAEL CALNER är docent och forskare vid Centrum för GeoBiosfärvetenskap, Lunds universitet.

LÄSTIPS

Henderson, C. 2006: *Paradise lost*. New Scientist, 5 August, 29-33.

Ruttiman, J. 2006: *Sick seas*. Nature 442, 978-980.

FAKTA OM HAVSVATTEN: 71 procent av jordens yta täcks av hav. Världshavens medeldjup är 3729 meter och volymmässigt är det hela 98 procent av jordens samlade vattenmängd som finns i just haven. I havsvattnet finns lösta gaser: Syrgas är nödvändigt för havsdjurens andning och kemiskt löst koldioxid är bland annat nödvändig för marina växters kolsyreassimilation. Tillsammans med dissocierade bikarbonat- och karbonationer bildar kolsyran ett kolsyrejämviktssystem som exempelvis reglerar vattnets pH. Kvävgas förekommer också men deltar normalt inte i den biologiska livscykel. Ädelgaserna finns i små mängder liksom vätgas. Källa: NE.se

Allvar i IPCC:s nya rapport

Huvuddelen av den uppvärmning som skett sedan år 1950 är **mycket sannolikt** orsakad av ökande halter av växthusgaser i atmosfären.

Detta konstaterar FN:s klimatpanel, International Panel on Climate Change, IPCC, i sin fjärde utvärderingsrapport om klimatsystemet.

Ord och inga visor. Årets rapport från FN:s klimatpanel är den fjärde som genomförts av IPCC. Senast det begav sig var 2001. Rapportens första del handlar om den fysiska grunden för förståelsen av klimatsystemet och är en utvärdering av forskningsläget. Rapporten anses vara mer tillförlitlig och i vissa delar mer skarpt formulerad än tidigare år. Detta eftersom den bygger på fler undersökningar än förut. Teknik och metoder för att mäta och modellera klimatet har dessutom hunnit att utvecklas.

IPCC skriver "mycket sannolikt" när det gäller den hittills uppmätta

globala temperaturökningen och dess koppling till antropogena utsläpp sedan 1950-talet. Och man skriver att fortsatta utsläpp av växthusgaser "mycket sannolikt kommer att leda till en fortsatt uppvärmning under 2000-talet som är fortsatt större än dem vi upplevt under 1900-talet".

– Med orden "mycket sannolikt", avser klimatpanelen en sannolikhet som ligger inom ett 90-procentigt konfidensintervall, berättar några av de svenska forskare som medverkade på ett av Stockholms universitet och Naturvårdsverket gemensamt anordnat klimatseminarium i Stockholm i februari.

Trots det allvarliga läget uttryckte flera av föredragshållarna på seminariet ändå en förhoppning om att politiker, forskare och näringsliv tillsammans kan fatta de beslut och utveckla den teknik som behövs för att hejda människans klimatpåverkan.

Den andra delen av IPCC:s rapport släpps i maj. Då presenteras slutsatserna om möjliga åtgärder för att begränsa klimatförändringarna. Förhoppningsvis är det ord och inga visor, som gäller då också.

Mer att läsa på www.ipcc.ch. och www.naturvardsverket.se.

Annon

Crafoordpriset 25 år

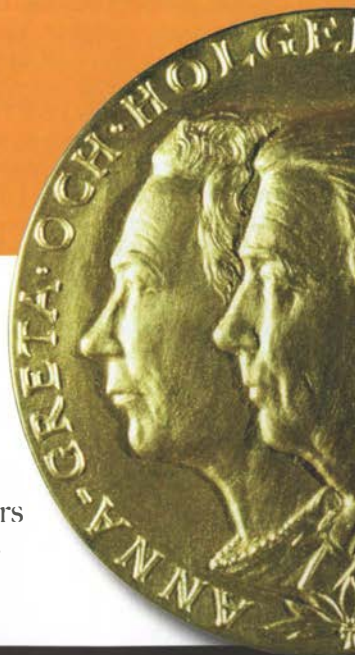
Jubileums 23–26 april i Lund symposium

Under jubileumssymposiet hålls symposier inom samtliga Crafoorddiscipliner; Matematik och Astronomi, Biovetenskaper, Geovetenskaper och Polyartrit.

Den 24-25 april hålls symposiet Polar Regions and Global Change och den 26

april kan man höra 2006 års Crafoordpristagare Wallace S. Broecker tala under det prissymposium som anordnas till hans ära.

För anmälan (senast 30 mars 2007) och mer information se www.crafoordprize.se.



Ökad nederbörd påverkar markstabiliteten

Vad innebär en temperaturhöjning och ökad nederbörd för Sverige som samhälle? Flera myndigheter i Sverige medverkar med underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen, ett arbete som startades av förra regeringen och som övertagits av den nuvarande.

Statens geotekniska institut, SGI, är en av dem som lämnar bidrag till slutbetänkandet.

När det gäller markstabilitet har vi ganska små marginaler, berättar geolog och forskningschef Bo Lind vid Statens geotekniska institut, SGI.

När det gäller markbyggnad är det ofta godtagbart med en säkerhetsfaktor på 1,3-1,4. (För vanliga byggnader eller stålkonstruktioner har man normalt en säkerhetsfaktor på 3-5.) Vad händer då om vi får ändrade vattenförhållanden i marken? Scenariot är inte helt otänkbart. Enligt Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, SMHI, kan vissa områden i Sverige under slutet av 2000-talet, främst i Norrland och i Västsverige, få upp till 30 procent mer nederbörd per år, jämfört med idag. Detta som ett resultat av människans utsläpp av växthusgaser i atmosfären.

Det är inte självklart att en 30-procentig förändring i nederbörd ger 30-procentiga förändringar av markens stabilitet. Men tänk OM? I sådana fall kan områden som idag anses stabila bli instabila och kräva åtgärder. SGI bedriver just nu forskningsprojekt tillsammans med Sveriges geologiska undersökning, Vägverket, Räddningsverket och Banverket, för att få fram mer kunskap om vad ökad nederbörd har för betydelse för markstabiliteten. Förutom försämrad markstabilitet är så kallade multirisiker något som SGI lyfter fram som en konsekvens av ett varmare svenskt klimat med ökad nederbörd. Det handlar om tekniska risker kombinerat med miljörisiker.

– Många markföroreningar från industriella verksamheter eller deponier är belägna utmed vattendrag. I områden med föroreningar skulle ökad nederbörd kunna öka risken för föroreningsspridning genom urlakning och läckage. Ytterligare en faktor är att ökad nederbörd kan ge ökad risk för skred. Vad händer om ett förorenat område skredar rakt ut i Göta älv? Göta älvdalen är ett typexempel på ett område som är skredkänsligt och där det finns flera förorenade områden. Älven är dessutom en viktig farled, samtidigt som den



Foto: SGI

SÄKERHETSAKTORN anger sannolikheten för huruvida bebyggelse/geotekniska konstruktioner inom ett visst område kommer att stå kvar eller inte. Säkerhetsfaktor 1 innebär att sannolikheten är precis lika stor att marken ska stå kvar, som att den ska rasa. Blir faktorn mindre än 1 blir sannolikheten för skred eller ras större än 50 procent.

SGI har cirka 90 medarbetare. Av dessa är merparten anställda som handläggare och forskare. SGI är en myndighet och ett forskningsinstitut. Uppgiften är att stötta andra myndigheter i Sverige som arbetar med mark- och grundläggningsfrågor, genom att ta fram, utveckla och sprida geoteknisk kunskap. SGI har även ett myndighetsansvar gällande kusterosion. Mer att läsa på www.swedgeo.se

är vattentäkt för ett stort antal människor.

– Samhället står inför stora men inte oöverstigliga problem, bedömer Bo Lind. Det kan kosta flera miljarder kronor att analysera risker och vidta åtgärder, men det handlar enligt våra kalkyler ändå inte om orimliga belopp.

SGI medverkar i Klimat och sårbarhetsutredningen (som redovisar sitt slutbetänkande i höst) med fyra specialstudier varav en av dem, rapporten *Geotekniska förutsättningar för ökad tappning från Vänern till Göta Älv*, är klar i dagsläget. De övriga tre (klara inom kort) handlar om stranderosion, föroreningsspridning på grund av ökad urlakning samt om hur risken för erosion, skred och ras kan förändras vid förändrat klimat.

– SGI har även tagit fram ett förslag till handlingsplan för att förutse och förebygga naturolyckor i Sverige vid förändrat klimat (SGI:s handlingsplan till regeringen 2006-02-01), berättar Bo Lind.

Några röster om Jordens klimat



Henning Rodhe, professor i kemisk meteorologi, Stockholms universitet och bland annat aktuell med forskningsprojekt som handlar om stoftmoln över Kina och Indien och hur dessa påverkar klimatet och människors hälsa.

– Människan är ansvarig för ökningen av atmosfärens halt av växthusgaser, främst koldioxid och metan. Det är ingen tvekan om att detta leder till en ökad växthuseffekt. Detta har med stor sannolikhet bidragit till den snabba globala uppvärmning som vi noterar under den senaste 50-årsperioden.

Förutom växthusgaser släpper vi ut stoftpartiklar i atmosfären, som ger en avkylande effekt. Det är osäkert hur stor denna avkylning är men den har sannolikt maskerat en betydande del av den ökade växthuseffekten under de senaste årtiondena.

Hur mycket vi kan komma att påverka klimatet i framtiden beror på hur stora utsläppen blir av växthusgaser och stoftpartiklar. Temperaturhöjningens storlek beror också på klimatsystemets inboende dynamik. Det finns många återkopplingsmekanismer, såväl positiva som negativa, som klimatmodellerna måste beskriva så realistiskt som möjligt. Den kanske största osäkerheten här gäller hur molnens utbredning och egenskaper kommer att förändras när temperaturen stiger. Människan har nu blivit en klimatdrivande faktor som överskuggar andra, naturliga, faktorer som vulkanutbrott och ändringar i solstrålningen. Vi måste räkna med att jordens temperatur under detta århundrade kommer att stiga kraftigt med stora konsekvenser för oss människor och för naturen i övrigt.



Wibjörn Karlén, professor emeritus i naturgeografi, Stockholms universitet och skeptiker i debatten om att människan påverkar klimatet.

– I alla tider har vi berörts av klimatet. Kanske mer förr än nu innan transportväsendet utvecklades.

Vi har nära nog global information om klimatet sedan 1860-talet, medan vi för äldre tid enbart har information från enstaka lokaler, bland annat i form av dagböcker, historisk information, trädens årsringar etc. Jordens medeltemperatur har stigit under de senaste 100 åren, men detta är inget unikt. Tillgängliga data visar att den senaste uppvärmning inträffade främst mellan början av 1900-talet och



Lisa Sennerby Forsse, rektor vid Sveriges lantbruksuniversitet och ordförande för regeringens vetenskapliga råd i klimatfrågor. Har tidigare arbetat med forskningsfinansiering inom klimatområdet som huvudsekreterare för Formas, var med i Göran Perssons oljekommission och satt med i Energimyndighetens energikutvecklingsnämnd. – Vår uppgift nu är att sammanställa var vi står i klimatfrågan innan man fattar beslut om åtgärder. Den nya regeringen har inriktat sig på tre grupperingar i klimatpolitiken. 1/ En hållbarhetskommission som arbetar övergripande med hållbar utveckling, varav klimatfrågan är en del. 2/ En parlamentarisk beredning med bred förankring med uppgiften att utforma en klimatpolitisk proposition till 2008. 3/ Ett vetenskapligt råd med experter inom naturvetenskapens områden men även områden som psykologi, ekonomi och samhällsvetenskap. Rådets uppgift är att sammanställa dagens vetande och utifrån detta göra analyser och ge rekommendationer till den parlamentariska beredningen.

– Det är ett stort underlag som vi ska arbeta med. IPCC:s klimatrapport blir givetvis en viktig del, gällande internationella forskningsresultat fram till 2005. Vår uppgift är att utvärdera även den forskning som finns rapporterad efter IPCC. Vi har både nationellt och internationellt perspektiv på frågorna.

Hur lång har ni kommit?

– Vi har gjort en disposition av vår kommande rapport och delat in oss i arbetsgrupper som kommer att jobba hårt under våren. Rapporten ska vara klar till den första september.

Påverkar människan jordens klimat?

– Ja, för mig är det ingen tvekan om det, även om det finns osäkerheter om i vilken omfattning.

fram emot 1940 och mellan 1980-talet och slutet av 1990-talet. Omkring 1975 var klimatet påtagligt mycket svalare. Orsaken till klimatvariationerna diskuteras livligt. Medan en grupp framhåller CO₂ som huvudorsak har andra noterat variabilitet i klimatet under tiderna innan denna gas började tillföras atmosfären genom förbränning av fossila bränslen. Inom denna sistnämnda grupp diskuteras en rad möjliga orsaker, som kan förklara såväl förändringarna i sen tid som tidigare. En viktig faktor anses vara solens aktivitet, som kan påverka bland annat molnmängden och därmed den strålning som tillförs jorden. Detta samband kan förklara såväl den senaste uppvärmningen som tidigare variationer i klimatet, något som växthusteorin inte kan.

Klimatet under kvartärtiden – vinglig resa, många förare



Borringar i en torvmark på Settlement Plain på ön Tristan da Cunha, Sydatlanten. Karl Ljung (Lund) beskriver en borrhäla under inspektion av Dan Hammarlund (Lund), medan Ole Bennike (Köpenhamn) skådar ut över havet. I bakgrunden kan man ana foten av en 700 meter hög vägg med lavasekvenser. Foto: Svante Björck.

Vad är orsaken till den pågående globala uppvärmningen? Vad säger klimatarkiven om Jordens klimat under de senaste 2,6 miljoner åren? Vad händer i framtiden? Här resonerar två geologer utifrån aktuell forskning, bland annat egna resultat – som sannolikt kommer att presenteras i tidskriften *Nature* inom kort.

TEXT Mats Rundgren, Svante Björck.

De senaste 2,6 miljoner åren har Jordens klimat kännetecknats av återkommande istider och därmed sammanhängande kontinentala nedisningar. På grund av sitt särpräglade, dynamiska klimat har denna period i Jordens historia fått ett eget namn: kvartär. Den successiva nedkylning som ledde till det kvartära istidsklimatet påbörjades redan för cirka 55 miljoner år sedan och hade plattetektoniska orsaker. Det som hände vid kvartärtidens början var att klimatet blev så kallt att omfattande kontinentala nedisningar började uppträda i Nordamerika och Eurasien och inte bara som tidigare på Antarktis och Grönland.

Under de senaste 800 000 åren har det förekommit åtta istidscykler. Detta innebär att klimatet regelbundet har växlat mellan istider och mellanistider, och en ny istid har inletts med ungefär 100 000 års mellanrum. Mellanistiderna har varit betydligt mer kortvariga än istiderna, vanligen bara 10 000-15 000 år långa. Det betyder att istid är normaltillståndet under nuvarande klimatförhållanden på Jorden och att vi för närvarande lever i en – i ett kvartärt perspektiv – ovanligt varm tid. Naturligtvis har detta haft stor betydelse för människans utveckling och våra möjligheter att dominera Jorden på det sätt vi gör idag.

Mot en ny istid?

Eftersom den innevarande mellanistiden, som vi kallar holocen, redan har varat i mer än 11 000 år, kan det framstå som sannolikt att vi närmar oss en

ny istid. Emellertid kan nästa istid dröja osedvanligt länge, kanske flera 10 000-tals år, om klimatet följer sina naturliga variationer, vilket vi återkommer till i slutet av artikeln. Att en ny nedisning förr eller senare kommer att ske är högst sannolikt, men det är inte omöjligt att inledningen av nästa istid kan fördröjas ytterligare om vi människor fortsätter att förstärka den naturliga växthuseffekten. Om den pågående uppvärmningen så småningom medför att inlandsisen på Grönland och delar av Antarktis smälter bort, är det inte heller uteslutet att förutsättningarna för de kvartära istidscyklerna försvinner och att vi inte får en ny, tidtabellsenlig istid.

När vi försöker bedöma hur klimatet kommer att förändras under de kommande århundradena och årtusendena räcker det inte att bara beakta de ovan beskrivna, relativt långsamma växlingarna mellan istider och mellanistider. Kvartärtiden kännetecknas nämligen även av betydligt mer kortvariga klimatvariationer. Till exempel kan den senaste istiden, vilken har fått namnet Weichsel, delas in i flera kalla faser åtskilda av perioder med relativt mildt klimat. Det var först under slutfasen som klimatet blev så kallt att den skandinaviska inlandsisen nådde Sydsverige och därefter fick sin maximala utbredning för cirka 20 000 år sedan. Förutom dessa gradvisa övergångar mellan kalla och milda faser, präglades klimatet under Weichselistiden även av omfattande temperaturförändringar som ägde rum under så kort tid som några årtionden till något eller några årtusenden.

Naturliga och mänskligt orsakade klimatförändringar

I jämförelse med förhållandena under den senaste istiden har klimatförändringarna under holocen varit relativt begränsade, men den nuvarande mellanistiden kan knappast betraktas som klimatiskt stabil. Förutom de mer gradvisa förändringar som har skett över årtusendena sedan början av holocen för cirka 11 600 år sedan, har det förekommit flera kortvariga temperaturfluktuationer. Några av dessa har varit av en liknande omfattning som den globala uppvärmningen under de senaste hundra åren. Därmed inte sagt att den pågående globala uppvärmningen och de övriga klimatförändringar som sker för närvarande inte är

något att ta på allvar. Det är nämligen några förhållanden som gör den pågående klimatförändringen speciell. En är att klimatet förändras väldigt snabbt. En annan är att klimatförändringen sammanfaller med att det har tillkommit nya, klimatpåverkande processer på grund av mänskliga aktiviteter. Aldrig tidigare under kvartärtiden har så stora mängder kol överförts från jordskorpan och landekosystemen till atmosfären i form av växthusgaser på så kort tid. Detta sker främst genom förbränning av fossila bränslen, men även genom olika former av markanvändning. Således har de naturliga klimatförändringarna förstärkts av mänskligt orsakade klimatförändringar, vilket gör dagens situation unik. På grund av klimatsystemets stora komplexitet kan det vara svårt att separera naturliga och mänskligt orsakade klimatförändringar. Dessutom kan naturliga klimatförändringar ha många olika orsaker. Därför är det viktigt att ha god kännedom om hur klimatsystemet fungerar, oavsett om man försöker förstå vad som sker med klimatet idag, i framtiden eller när man tolkar skeenden tidigare i Jordens historia.

Det komplexa klimatsystemet

Klimatet på en viss plats, och därmed även globalt, bestäms i ett komplicerat samspel mellan en mängd faktorer och processer. Man brukar skilja mellan yttre påverkan på klimatsystemet och inre samverkan inom systemet (Fig. 1). Som yttre påverkansfaktorer, det vill säga sådana som påverkar klimatet men i sin tur inte påverkas av klimatet, räknas plattetektonik, orbitala förändringar och förändringar i solaktivitet.

Extern påverkan

Med undantag för enskilda vulkanutbrott är plattetektoniska processer såsom bergskedjebildning och oceanbottenspridning väldigt långsamma och därför av liten betydelse för klimatet under den korta kvartärtiden. Vid vulkanutbrott kan aska spridas i atmosfären, och dessa finkorniga partiklar (aerosoler) absorberar och sprider en del av den inkommande solstrålningen, vilket har en kylande effekt på klimatet. Detsamma gäller för till exempel ökenstoft, men även för mänskligt producerade aerosoler från exempelvis förbränning av fossila bränslen. Partiklarna gynnar även

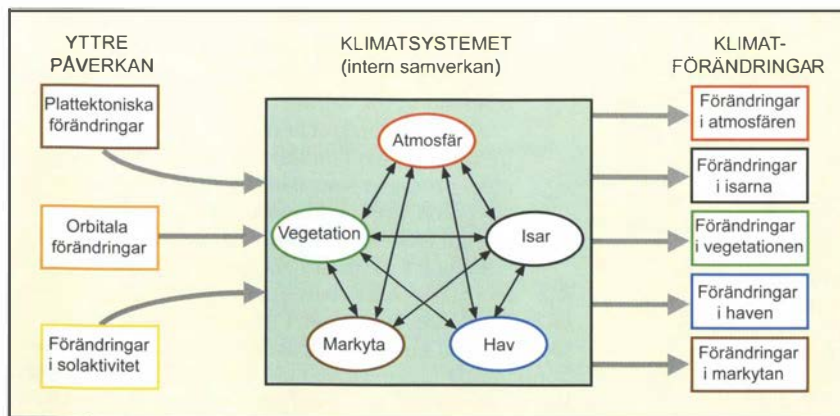


Fig. 1. Schematisk översikt över klimatsystemet och dess huvudkomponenter samt de viktigaste typerna av yttre påverkan på klimatsystemet. Efter Ruddiman (2001) och Andréasson (red.) (2006).

bildningen av moln genom att fungera som kondensationskärnor för vattendroppar, och mer moln i atmosfären har vanligen en kylande effekt. Klimateffekterna från ett vulkanutbrott varar dock endast så länge som askan stannar kvar i atmosfären, och normalt faller den till marken inom några få år.

Med orbitala förändringar avses förändringar i Jordens omloppsbana runt solen samt de rörelser planeten utför då den rör sig kring solen. De orbitala förändringarna orsakas av gravitationssamverkan mellan himlakropparna i solsystemet och sker med en viss regelbundenhet. Klimatet påverkas främst genom att fördelningen av den mot Jorden infallande solstrålningen varierar mellan breddgrader och årstider. Man menar till exempel att istidscyklerna styrs av hur mycket sommarinstrålning de nedisningskänsliga breddgraderna på norra halvklotet får. Även den totala mängden solinstrålning till Jorden varierar, men denna variation är mycket liten.

Tre orbitala parametrar har betydelse för klimatet under kvartärtiden. En av dessa är jordbanans form som varierar mellan att vara nästan cirkulär och mera elliptisk med en cyklicitet på omkring 100 000 år. En annan viktig parameter är den lutning som Jordens rotationsaxel har mot det plan som omloppsbans

kring solen utgör. Denna lutning varierar med ungefär 2° under en period av cirka 41 000 år. Slutligen utför Jorden en wobblande rörelse medan den förflyttar sig runt solen, vilket innebär att jordaxelns riktning ändrar sig något och beskriver en cirkulär rörelse kring sitt medelläge. Ett sådant cirkelvarv tar cirka 23 000 år.

Solens utstrålning är inte konstant utan varierar på flera tidsskalor. I ett kvartärt perspektiv är det främst de fluktuationer i solaktivitet som sker över decennier till århundraden som har betydelse för klimatet. Eftersom de resulterande variationerna i solinstrålning till Jorden är väldigt små, är det dock ännu oklart hur kopplingen mellan solaktivitet och klimat ser ut. Möjligen är det så att solaktiviteten påverkar molnbildningen genom att variationer i styrkan hos solens magnetfält reglerar mängden kosmisk strålning som når Jorden. Dessa små, från rymden inkommande partiklar kan nämligen fungera som kondensationskärnor för vattendroppar. Det är också möjligt att solaktiviteten påverkar temperaturen i stratosfären och därmed också den storskaliga atmosfäriska cirkulationen.

Intern samverkan

Intern samverkan inom klimatsystemet innebär att en komponent i klimatsystemet påverkar en eller flera andra komponenter. Till exempel kan en höjning av temperaturen i atmosfären leda till ökad avsmältning av inlandsisar, men också till att skog vandrar in i områden som tidigare täcktes av tundra. Smältvattnet från isarna kan i sin tur påverka havsströmmarna i angränsande hav och så vidare. På detta sätt uppstår ett komplicerat samspel mellan klimatsystemets fem huvudkomponenter, det vill säga atmosfär, isar, hav, markyta och vegetation (Fig. 1).

Vanligen har intern samverkan inom klimatsystemet sitt ursprung i någon form av yttre påverkan på en eller flera av komponenterna, men klimatförändringar kan även uppstå enbart genom den ständigt pågående omfördelning av energi och massa som sker mellan de olika komponenterna. Att detta är möjligt beror bland annat på att dessa reagerar olika snabbt då de utsätts för påverkan. Till exempel ändras atmosfärstemperaturen snabbt om solinstrålningen ändras. Nära markytan sker detta inom loppet av ett dygn. Havets temperatur tar längre tid att förändra. Det kan röra sig om allt från några dagar för ytvatten till hundratals eller tusentals år för vattnet på de stora oceandjupen.

Intern samverkan är ofta mycket komplex och involverar flera klimatkomponenter och många olika processer som sker med olika hastighet. Då en förändring i en klimatkomponent ger upphov till en kedjereaktion i klimatsystemet som resulterar i påverkan på den klimatkomponent som satte igång reaktionen uppstår vad man kallar en återkoppling i systemet. Om den ursprungliga förändringen förstärks, till exempel om en höjning av temperaturen i atmosfären via samverkan med andra komponenter leder till ytterligare ökning av lufttem-

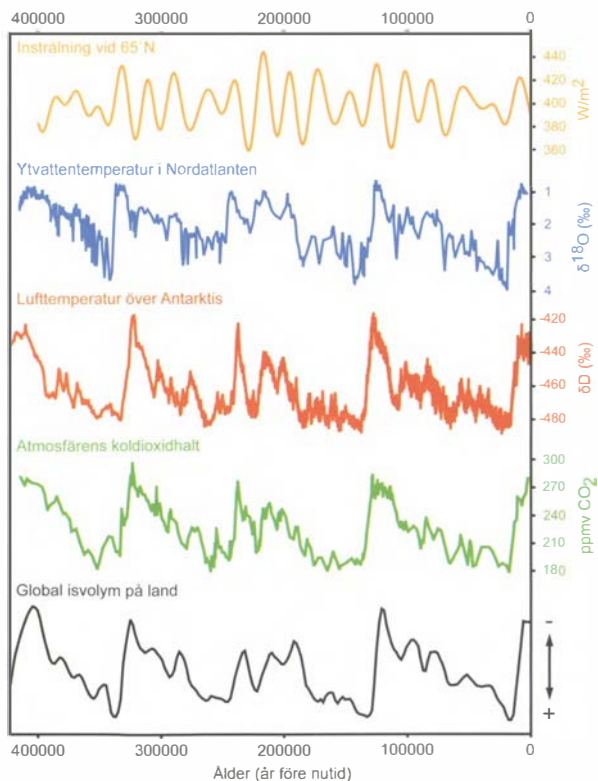


Fig.2. Variationer i några viktiga klimatpåverkande faktorer och klimatparametrar samt global, kontinental isvolyt under de senaste 420 000 åren. Längst till höger ses vår nuvarande mellanistid (holocen), vilken föregås av fyra mellanistider med ungefär 100 000 års mellanrum. Data från Berger (1977), Bassinot et al. (1994), McManus et al. (1999) och Petit et al. (1999).

peraturen, talar man om en positiv återkoppling. Att bygga upp en stor inlandsis kan ta tiotusentals år, men på grund av positiva återkopplingsmekanismer, som till exempel stigande havsnivåer, kan det gå mycket snabbare att smälta bort den. Om den ursprungliga förändringen istället motverkas och försvagas har det skett en negativ återkoppling.

Med tanke på att det ständigt pågår en mängd olika förändringar i klimatsystemet, och att dessa har olika hastighet och riktning, är det uppenbart att det kan vara svårt att knyta en viss förändring till en specifik yttre påverkan eller intern samverkan. Det finns dock många exempel från kvartärtiden där man är relativt säker på vad som orsakat en viss klimatförändring. Vi ska nu beskriva några sådana exempel.

Istider och mellanistider

Som nämndes inledningsvis, har de senaste istiderna inletts med ungefär 100 000 års mellanrum. Detta framgår också av Fig. 2 som bland annat visar hur ytvattentemperaturen i Nordatlanten och atmosfärstemperaturen över Antarktis har varierat under de senaste 420 000 åren. Dock är det i många fall enklare att identifiera de mer abrupta och kraftiga uppvärmningar som skett när en mellanistid har inletts. Även dessa har skett med cirka 100 000 års mellanrum. I samma figur finns en kurva som visar hur den globala isvolymen på kontinenterna har varierat under samma tid. Som förväntat finns det ett starkt samband mellan variationerna i temperatur och volymen is på land.

Vad är det då som ger upphov till dessa istidscykler? Det faktum att istiderna återkommer så regelbundet med ett mellanrum på cirka 100 000 år skulle kunna tyda på att instrålningsvariationer till följd av en av de orbitala parametrarna, nämligen variationen i jordbanans form, är av stor betydelse. Detta stöds av kurvan som visar instrålningen vid 65°N (Fig. 2), vilket är den breddgrad där små förändringar i klimatet lättast leder till uppbyggnad eller avsmältning av inlandsisar. Mycket riktigt sammanfaller perioder med hög instrålning vid 65°N relativt väl med höga temperaturer och liten isvolym. Om man närmare studerar temperatur- och isvolymkurvorna i Fig. 2, kan man konstatera att dessa även uppvisar variationer med en cyklicitet på cirka 41 000 respektive 23 000 år. Eftersom dessa cykler är identiska med cyklerna i jordaxelns lutning och Jordens wobblande rörelse, finns det starka indikationer på ett orbitalt ursprung för istidscyklerna. Den rådande teorin för att förklara växlingarna mellan istider och mellanistider under kvartärtiden är mycket riktigt också att de orsakas av instrålningsvariationer till följd av regelbundna förändringar i de tre orbitala parametrarna.

Det finns dock några problem med denna teori. Ett är att instrålningsvariationerna till följd av förändringar i jordbanans form är jämförelsevis små. Följaktligen är det svårt att förklara varför istiderna har just denna cyklicitet. Ett annat är att förändringarna i klimat och isvolym uppvisar ett asymmetriskt mönster, med abrupt uppvärmning/isavsmältning vid istidernas slut och mer gradvis nedkylning/istillväxt under istiderna

– ett mönster som saknas i instrålningsvariationerna. Lösningen på båda dessa problem är troligen att det finns starka återkopplingar i klimatsystemet. Någon form av positiv återkoppling skulle kunna förklara hur den jämförelsevis svaga variationen i instrålning till följd av förändringar i jordbanans form trots allt kan ge upphov till en istidscyklicitet på omkring 100 000 år. På liknande sätt kan den nämnda asymmetrin i responsen på instrålningsförändringarna förklaras av att positiv återkoppling under istiderna leder till gradvis kallare klimat och större isvolym. Så småningom nås dock någon form av tröskelvärde i klimatsystemet. Istället sker därefter positiv återkoppling i motsatt riktning och temperaturen stiger mycket snabbt, vilket medför snabb avsmältning av inlandsisarna.

Alla återkopplingsmekanismer som förstärker istidscyklerna är inte kända, och det är inte heller klart vad som bestämmer tröskelvärdena i klimatsystemet. Det är dock uppenbart att förändringar i atmosfärens innehåll av växthusgaser bidrar och har stor betydelse. Detta stöds av den koldioxidkurva som visas i Fig. 2, vilken uppvisar mycket stora likheter med såväl temperaturkurvorna som isvolymkurvan. Detaljerade studier har visat att förändringarna i koldioxidhalt är fördröjda några hundra eller tusen år i förhållande till temperaturförändringarna. Detta tyder på att ökande instrålning leder till att temperaturen stiger, vilket i sin tur medför att koldioxidhalten i atmosfären stiger. Detta påskyndar uppvärmningen ytterligare genom positiv återkoppling, med snabb isavsmältning som följd. Förloppet är det omvända under istiderna. Den generellt sett låga koldioxidhalten under istiderna förklaras av att mycket av atmosfärens koldioxid, av flera olika orsaker, tas upp av haven under dessa perioder. Även andra växthusgaser, bland annat metan, varierar på ett likartat sätt som koldioxid mellan istider och mellanistider. Metanvariationerna beror dock framför allt på processer i landekosystemen. Särskilt utbytet mellan våtmarker och atmosfär är av stor betydelse.

Interhemisfäriska kopplingar i klimatsystemet

De senaste istidscyklernas klimatutveckling på Grönland och Antarktis är relativt välkänd. Detta beror på borrhningar och analyser av flera långa iskärnor från dessa polära inlandsisar. Eftersom det storskaliga mönstret i klimatutvecklingen från de båda polarområdena påminner mycket om varandra ansågs det länge att förändringarna var samtidiga och "gick åt samma håll", det vill säga att det blev kallt och varmt samtidigt vid de två polerna. Det har dock alltid stått klart att dateringarna av de antarktiska borrhärnorna, med sin mycket sämre tidsupplösning, har varit mycket osäkra.

När tillräckligt täta analyser hade gjorts av både grönländska och antarktiska iskärnors halter av metan, och dessa kärnor kunde korreleras med hjälp av metanhaltens variationer, stod det klart att den detaljerade klimatutvecklingen under den senaste istiden är den motsatta vid de två polerna (Fig. 3). När temperaturen stiger på Grönland har den redan nått ett maximum i Antarktis och börjar falla, och vice versa.

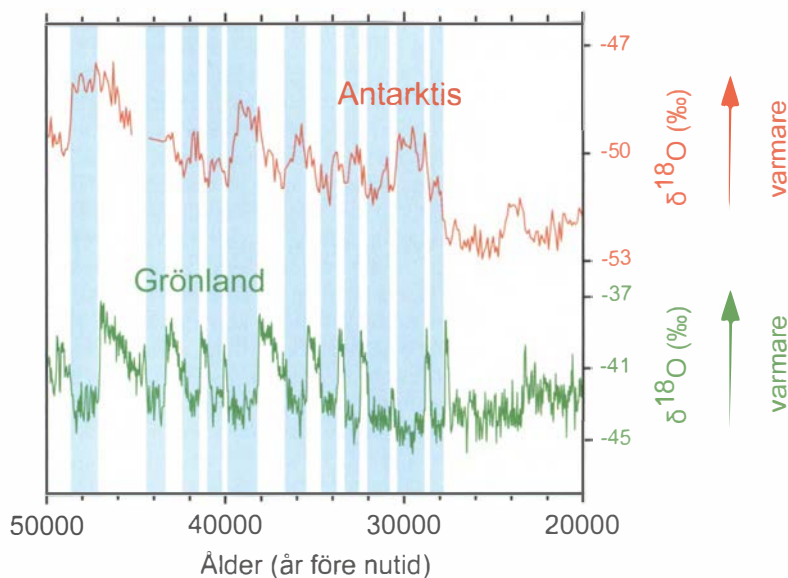


Fig. 3. Temperaturvariationer i Antarktis och på Grönland under perioden 50 000-20 000 före nutid. De blåmarkerade intervallen kännetecknades av låga temperaturer på Grönland. Dessa är ur fas med temperaturutvecklingen på Antarktis, vilket illustrerar den så kallade bipolära gungbrädeseffekten. Data från Andersen et al. (2007) och Barbante et al. (2006).

Detta klimatiska motsatsförhållande har benämnts den bipolära gungbrädeseffekten (Eng. *bipolar seesaw effect*) av 2006 års Crafoordpristagare, Wallace S. Broecker. På grund av att Grönland och Antarktis är Atlantens ändpunkter kan detta sägas vara ett atlantiskt fenomen så länge det inte påträffats på andra longituder.

Orsakerna till denna effekt anses hänga samman med den Nordatlantiska Strömmen, varav Golfströmmen är en del, och dess förmåga att transportera varmt vatten från Sydatlanten upp till våra breddgrader. Vad som driver den Nordatlantiska Strömmen är det faktum att ytvattnet i norra Atlanten sjunker ner till stora djup på grund av sin höga densitet. Densiteten blir hög när det högsalina vattnet från Mexikanska Golfen förlorar sin värme av Nordatlantens kalla luftmassor som blåser in från arktiska Kanada och Grönland. Atmosfären värms upp över Västeuropa, men vattnet kyls av så mycket att kombinationen av låg temperatur och hög salinitet gör vattnet tyngre än det som finns under och det börjar sjunka. Dessa processer, vilka tillsammans benämnas termohalin cirkulation, är speciellt aktiva på vintern med dess låga temperaturer och vinterns havsisbildning som ytterligare ökar saliniteten och densiteten. Den totala effekten blir att ju mer vatten som sjunker ner i djuphavet och transporteras söderut, desto mer ytvatten från söder måste ersättas via den Nordatlantiska Strömmen och temperaturen i nordvästra Europa stiger.

Under Weichselistiden ser man att när istället detta transportband av värme försvagades av att till exempel saliniteten, och därmed också densiteten, sjönk blev effekten den motsatta. Områdena för djupvattenbildningen i norr lokaliserades då längre söderut, djupvattnemängden minskade mer eller mindre dramatiskt, den Nordatlantiska Strömmen försvagades och kylan bredde ut sig i norr. Effekten blev att det varma ytvattnet stannade kvar i Sydatlanten istället för att

transporteras norrut, vilket medförde uppvärmning av de sydliga breddgraderna (Fig. 3). Data från iskärnorna visar också att ju längre de kalla perioderna varade i norr desto varmare blev det i söder, det vill säga ju längre tid djupvattenbildningen var störd eller avbruten i norr, desto mer varmt vatten kunde ansamlas i Sydatlanten.

Orsakerna till att detta transportband av värme kunde störas så effektivt under istiden anses bero på det faktum att Nordatlanten var omgiven av mäktiga inlandsisar, vilka med sitt stora innehåll av potentiellt sötvatten snabbt kunde sänka saliniteten genom ökad kalvning av isberg eller genom tappningar av uppdammda issjöar ut i Nordatlanten. Det paradoxala i denna storskaliga cirkulation och värmetransport är att den Nordatlantiska Strömmen har en inneboende potential att "ta käl på" sig själv: värmen som den transporterar norrut smälter eventuell is kring Nordatlanten vilket i sin tur sänker saliniteten och leder till en försvagning av djupvattenbildningen och den Nordatlantiska Strömmen. Denna negativa återkoppling i klimatsystemet leder till avkylning och minskad isavsmältning, vilket gradvis ökar saliniteten på det redan kalla vattnet varpå djupvattenbildningen återigen kan öka, och så vidare.

En viktig fråga i detta sammanhang är om denna klimatiska gungbrädeseffekt enbart fungerar under istidsförhållanden då mycket sötvatten i form av is finns tillgängligt på kontinenterna, eller om samma typ av klimatiska motsatsförhållande även kan förekomma under värmeperioder såsom nu rådande mellanistid. På grund av de små, knappt skönjbara, holocena klimatförändringar som finns registrerade i polarisarna har det varit omöjligt att avgöra om denna effekt existerat under holocen: kraftiga högttryck över Grönland och Antarktis skapar nämligen ett mycket stabilt klimat där. Däremot finns ett flertal tydliga holocena klimatoscillationer dokumenterade kring Nordatlanten,

karaktäriserade av försvagad djupvattenbildning med mer havsis och isberg och ett kallare och fuktigare klimat.

Tidskriften Nature överväger att publicera resultat av Ljung et al. från det av Vetenskapsrådet finansierade Atlantisprojektet, vilka visar att dylika perioder har kännetecknats av ökad nederbörd på den sydatlantiska ögruppen Tristan da Cunha. Med största sannolikhet har detta orsakats av förhöjda regionala havsytetemperaturer. Det innebär att Sydatlantien har värmts upp samtidigt som Nordatlantens vatten blivit kallare på grund av försvagad termohalin cirkulation. Även om effekterna var långt ifrån så dramatiska som istidens snabba och kraftiga oscillationer innebär dessa rön att den bipolära gungbrädesmekanismen tycks vara i gång även under interglaciala förhållanden. Detta kan synas märkligt eftersom de kontinentala inlandsisarna i Nordamerika och Europa hade försvunnit för cirka 7 000 år sedan. Frågan man ställer sig är vad som kunde rubba djupvattenbildningen så mycket, nu när den stora sötvattenspotentialen smält bort, att den Nordatlantiska Strömmen stördes tillräckligt för att påtagligt höja temperaturen i Sydatlantien. Vi vet att flera av dessa oscillationer sammanfaller ganska väl med minskad solaktivitet, men vilka de exakta processerna bakom kopplingen mellan solaktivitet och till exempel försvagad djupvattenbildning är står fortfarande skrivet i stjärnorna. Det är dock troligt att kryosfären – snö, havsis och glaciärer – spelar en stor roll för de processer som slutligen leder till att både Nord- och Sydatlantien påverkas. Detta visar också hur komplext klimatsystemet är och hur svårt det kan vara att förutspå hur Jordens framtida klimat kommer att påverkas av olika, delvis okända, processer.

Vad orsakar dagens uppvärmning, vad händer framöver? Studier som kombinerar mätdata och olika scenarier från klimatmodeller tyder på att under 1900-talets första hälft bidrog solaktiviteten med en uppvärmande effekt, samtidigt som större avkylande vulkanutbrott uteblev. Under seklets andra hälft upphörde solaktiviteten att öka, samtidigt som några större vulkanutbrott och ökad mänsklig aktivitet orsakade en ökad mängd aerosoler. Trots detta har Jordens medeltemperatur stigit kraftigt. Detta kan förklaras av de ökande halterna av koldioxid och andra växthusgaser i atmosfären, och mycket tyder på att naturliga faktorer bidrar allt mindre till klimatutvecklingen i jämförelse med växthusgaserna. Hur den närmaste framtiden blir beror dels på hur stora utsläppen blir framöver, samtidigt som de utsläpp som redan gjorts påverkar den fortsatta klimatförändringen, och dels på den naturliga klimatutvecklingen – om den nu längre har någon stor inverkan? Förutom att man är överens om att Jorden går mot ett varmare klimat så länge halten av växthusgaser fortsätter att öka, pekar de flesta framtidsscenarier på att nederbörden kommer att öka där den redan är hög och minska där den nu är låg. Klimatet blir mer extremt med kraftigare stormar och cykloner, och det senare beror inte minst på att havsytetemperaturerna kommer att stiga.

Hur ser då den längre framtiden ut för Jordens klimat? Av alla de faktorer som vi vet driver på klimatutvecklingen är insolationen den enda faktorn vi kan beräkna i detalj in i framtiden. Effekten av insolationsvariationerna är svag med ungefär 400 000 års mellanrum (Fig. 2), och vi är nu inne i en sådan period. Den säger oss att vi idag har låg sommarsolinstrålning på våra nedisningskänsliga breddgrader, att den kommer att stiga och nå en liten topp om cirka 10 000 år följt av ett litet minimum om 20 000 år och sedan relativt hög instrålning 25 000 till 45 000 år in i framtiden. Inte förrän om 55 000 år ser det ut som om insolationen når så låga värden att en stor nedisning kan börja. Den kommer nog att avbrytas ganska snabbt igen på grund av en insolationstopp om 65 000 år. Inte förrän om 100 000 år ser det ut som om vi får en större nedisning eftersom vi då kommer att ha haft en längre period med sjunkande insolation följt av ett klart minimum. Sammanfattningsvis kan man säga att insolationen under de kommande 50 000 åren är en så svagt styrande klimatfaktor att andra processer lättare kan spela en avgörande roll för klimatets utveckling.

MATS RUNDGREN är docent i kvartärgeologi, SVANTE BJÖRCK är professor i kvartärgeologi, båda vid Centrum för GeoBiosfärvetenskap, Lunds universitet.

REFERENSER

- Andersen, K. K. et al. 2007. *The Greenland Ice Core Chronology 2005, 15–42 ka. Part 1: constructing the time scale*. Quaternary Science Reviews 25, 3246–3257.
- Andréasson, P.-G. (red.) 2006. *Geobiosfären - en introduktion*. Studentlitteratur, Lund, 603 s.
- Berger, A. 1977. *Long-term variations of the earth's orbital elements*. Celestial Mechanics 15, 53–74.
- Barbante et al. 2006. *One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica*. Nature 444, 195–198.
- Bassiot, F. C. et al. 1994. *The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal*. Earth and Planetary Science Letters 126, 91–108.
- McManus, J. F. et al. 1999. *A 0.5 million year record of millennial scale climate variability in the North Atlantic*. Science 283, 971–975.
- Petit, J. R. et al. 1999. *Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica*. Nature 399, 429–436.
- Ruddiman, W. F. 2001. *Earth's Climate - Past and Future*. W. H. Freeman and Company, New York, 465 s.

Koldioxid, kosmisk strålning och Jordens globala klimat

Det finns geovetenskaplig forskning som indikerar att det finns brister i teorin om att koldioxid är den primärt drivande faktorn bakom Jordens långsamma klimatförändringar. Och det finns astrofysiker som antyder att kosmisk strålning kan vara viktigare än koldioxid, för klimatcykler som omfattar hundratals miljoner år. Detta är en hypotes som väckt debatt!

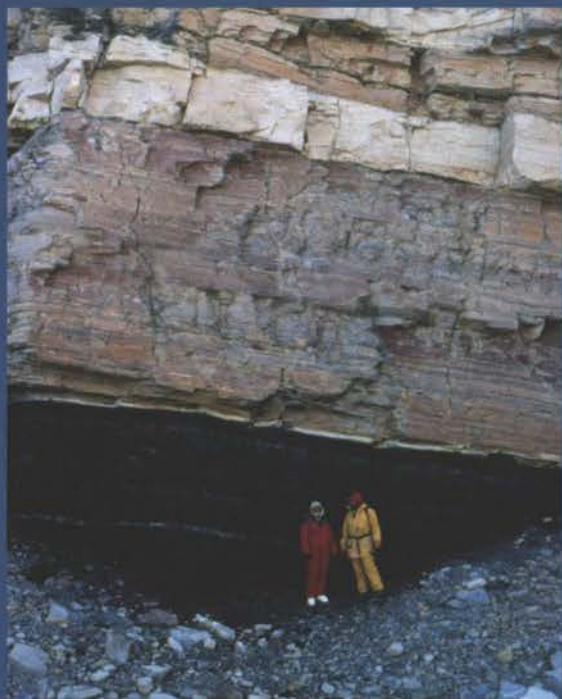
TEXT Mikael Calner, Vivi Vajda och Stephen McLoughlin
FOTO Stephen McLoughlin och Mikael Calner

Jordens klimat har nu etablerat sig som en av de viktigaste frågorna på den globala politiska arenan. Det är en komplicerad fråga, som inte bara kräver omfattande historiska underlag, utan även kunskap om vilka processer som är viktiga för klimatets förändring över tidsperspektiv som går bortom industrialismens epok. Effekter av en klimatförändring kan nämligen både förstärkas, försvagas och neutraliseras av normala geologiska processer. Man får inte under några omständigheter avdramatisera klimatfrågan, men för att upprätthålla en nyanserad debatt krävs alltså kunskap om såväl geologiska processer som klimatets naturliga variationer, i nutid såväl som i Jordens urtid. Det är här som geologer kommer in i bilden, och när det kommer

till just koldioxidens roll i klimatförändringar som sker över miljontals år så finns det fortfarande en del frågor att besvara.

Naturliga klimatarkiv

Geologer studerar ett flertal *naturliga klimatarkiv* för att rekonstruera Jordens urtida klimatsvängningar och dess orsaker. På den mest övergripande nivån kan man säga att de sedimentära bergarterna och dess fossil utgör ett sådant arkiv. Olika sedimentära bergarter avspeglar nämligen olika klimatsituationer. Evaporiter så som halit (stensalt) bildas till exempel endast i områden där den årliga avdunstningen överstiger nederbörden. Uppträdandet av evaporiter i en lagerföljd är därför en god indikator för en tidsperiod av ökenklimat i just det området. Under fuktiga, varma förhållande bildas istället kol och lermineral som kaolinit. Tilliter (fossila moräner), isbergstransporterat material och mineral som glendonit tyder på kontinentala nedisningar och sedimentation i kalla hav. Ett synnerligen användbart klimatarkiv utgörs av kalksten eftersom dess sammansättning av biologiska och icke-biologiska korn återspeglar om sedimenten en gång avlagrades i tropiska eller tempererade grundhav. Fossil av kalkskaliga organismer som en gång frodades i oceanernas högre skikt eller på grundhavens solbelysta botten kan även användas för att studera sammansättningen på den tidens havsvatten. Precis som idag utsöndrade dessa organismer sitt skal i jämvikt med det omgivande havsvattnets kemi. Under



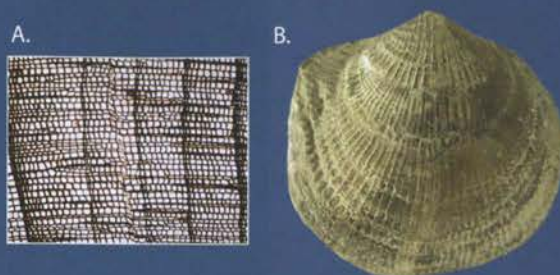
Naturliga klimatarkiv. De mäktiga kolavlagringarna vid Prince Charles Mountains på Antarktis vittnar om att ett fuktigt varmt klimat dominerat kontinenten för 250 miljoner år sedan. Övergången uppåt till rödaktig sandsten indikerar övergången till ett torrare, ökenartat klimat.

sin tillväxt byggde de därför in de två vanliga syre-isotoperna ^{18}O och ^{16}O i skalstrukturen, något man kan dra nytta av i klimatstudier. När havsvatten genom avdunstning bildar kondens och regn är det framförallt den lätta isotopen (^{16}O) som lämnar havets yta och stiger uppåt – just för att den är lättare! Moln och nederbörd är alltså anrikade på ^{16}O . Eftersom regnvatten relativt snabbt återförs till oceanerna, genom kontinenternas floder, upprätthålls normalt jämvikten mellan de två isotoperna i världshaven. Under vissa perioder däremot, då nederbörden under hundratusentals till miljontals år binds upp i inlandsisar, förskjuts förhållandet så att oceanerna får ett relativt överskott av den tyngre isotopen ^{18}O . I laboratorier kan man med hjälp av en så kallad masspektrometer rekonstruera förhållandet mellan de två isotoperna. Resultaten kan därefter omräknas i $^{\circ}\text{C}$ och ger således en god inblick i havsvattnets temperaturförändring genom tiden. Förändringarna kan jämföras med andra klimatarkiv, till exempel utbredningen i tid och rum av bergarter som kol och evaporiter.

Ishus och växthus

Sedan länge har man kunnat urskilja långvariga köldperioder i Jordens historia avlösta av långvariga värmeperioder. Perioderna följer en cykel om cirka 300 miljoner år och dess extremer formaliserades av tysken Alfred G. Fischer, så sent som 1981, som *ishusperioder* och *växthusperioder*. De kallare ishusperioderna kännetecknas av att isar breder ut sig över polerna och av en stor temperaturgradient mellan polära och ekvatoriella områden. Under växthusperioderna är Jorden isfri och skillnad i temperatur mellan höga och låga latituder är mindre, med ett jämnare klimat som följd.

Vad är det då som orsakar dessa långa cykler av kallare och varmare klimat? Så sent som för ett par år sedan rådde i stort konsensus om att växlingarna mellan ishus- och växthusperioder orsakades av variationer i atmosfärens koldioxidhalt. Variationerna kan förklaras med utgångspunkt från mantels konvektionsströmmar, alltså de rörelser av trögflytande magma i astenosfären som driver fram litosfärens olika plattor. Omfattningen av mantels konvektionsströmmar bestämmer nämligen hastigheten på oceanbottenspridning och därmed storleken och densiteten på de mittoceaniska ryggarna – världshavens bergskedjor. När oceanbottenspridningen är liten minskar ryggarna i storlek och svalnar av. Det medför att de sjunker nedåt så att oceanbassängernas volym ökar och den globala havsnivån sjunker. Som ett resultat exponeras större ytor av kontinental jordskorpa för kemiska vittringsprocesser. När kontinenternas silikat-mineral vittrar konsumeras koldioxid från atmosfären och det globala klimatet blir långsamt kallare. Många forskare anser idag att den ökade vittringen till följd av Himalayas bildning, med start för ca 55 miljoner år sedan, har bidragit till en avkylning av Jorden och lett oss in i dagens ishusperiod. Omvänt medför ökad oceanbottenspridning att de mittoceaniska ryggarna blir varma och ökar i volym till följd av en ökad vulkanisk aktivitet. De stiger och därmed minskar



Bilden till vänster: A. Ved med årsringar från kolet utgör ett klimat-arkiv som visar kortare, säsongsbundna cykler (fotograferat genom mikroskop). B. Bilden till höger: Kalkskaliga marina organismer som den här brachiopoden (armfoting) utsöndrar sitt skal i jämvikt med det omgivande havsvattnets kemi. Genom att studera förhållandet mellan syrets stabila isotoper kan man rekonstruera temperaturen i oceaner som inte längre finns (brachiopoden är cirka en centimeter bred).

oceanbassängernas volym vilket medför att havet stiger långt över kontinentkanterna och vittspridda grundhav bildas. En mindre yta av kontinenterna blir då tillgänglig för vittringsprocesser och atmosfärens halt av koldioxid höjs successivt genom att koldioxid genom olika processer återförs till atmosfären vilket leder till ett successivt varmare klimat. Enligt teorin kontrolleras alltså atmosfärens koldioxidhalt och därmed temperaturvariationer av Jordens egna, endogena, processer.

Den väl inarbetade teorin om att koldioxid är den primära drivande faktorn bakom Jordens långsamma klimatförändringar har på senare tid blivit ifrågasatt. Detta har skett efter en studie som publicerades i tidskriften *Nature* år 2000 (Veizer et al. 2000). Studien, som är baserad på mer än 4,600 mätningar av relationen mellan syreisotoperna ^{18}O och ^{16}O i fossila marina organismers kalkskal, utgör det mest omfattande försöket att rekonstruera temperaturförändringar i haven under fanerozoisk tid (de senaste ~543 miljoner åren). Resultaten visar att kalla och varma perioder avlöser varandra i en cykel omfattande $\sim 135 \pm 9$ Ma. Denna cykel stämmer väl överens med andra geologiska klimatarkiv, till exempel den tidsmässiga utbredningen av tilliter (Fig 1 på nästa sida), men här finns ett problem: När man har jämfört de framräknade temperaturvariationerna med atmosfärens koldioxidvariationer under samma tid – baserat på antalet klyvöppningar per ytenhet på fossila löv och stabila kolisotoper i fossila jordmånar – har det visat sig att korrelationen mellan koldioxidhalten och Jordens ishus- och växthusperioder är ganska dålig. Det kan betyda att det finns en annan, tidigare okänd process som i okänd utsträckning påverkar Jordens temperatur.

Kosmisk strålning

En radikalt annorlunda hypotes presenterades 2002 av astrofysikern Nir J. Shaviv i den vetenskapliga tidskriften *New Astronomy*. Hypotesen bygger på att klimatförändringarna under fanerozoikum i stor utsträckning orsakats av variationer i den kosmiska

strålning som når Jorden, det vill säga joniserande strålning från världsrymden. Det skulle innebära att de grundläggande, storskaliga klimatförändringarna inte alls regleras av planeten själv genom variationerna i koldioxidhalten utan av utanförliggande, extraterrestriska processer. Hypotesen har väckt debatt men även fått viss uppmärksamhet för att den bygger på oberoende forskningsresultat, resultat från både geologer och astrofysiker.

Den mängd kosmisk strålning som når Jorden är relaterad till fluktuationer i solaktivitet och intensiteten i solvindar. En hög solaktivitet genererar starka magnetfält som har en avskärmande effekt på kosmisk strålning till Jorden. Därför är den kosmiska strålningen till Jorden störst när solaktiviteten är låg. Dessa cykler kan förklara en del av klimatvariationerna i modern och historisk tid. Nir J. Shaviv menar att det finns andra cykler i kosmisk strålning som inte direkt relaterar till solaktivitet utan snarare till solsystemets rörelse genom galaxen. Dessa cykler opererar över långa tidsperspektiv, omfattande miljontals år, och kan över sådana tidsskalor faktiskt ha varit viktigare för klimatutveckling än vad koldioxid har varit. Baserat på isotopsammansättningen i järnmeteoriter argumenterar Shaviv i sitt arbete att det finns en speciellt tydlig cykel i kosmisk strålning på $\sim 143 \pm 10$ Ma. En sådan lång cykel skulle kunna förklaras av att vårt solsystem med en viss periodicitet passerar genom någon av galaxens spiralarmar, där den kosmiska strålningen antas vara förhöjd. Men hur menar man då att den kosmiska strålningen påverkar klimatet på Jorden? Jo, man har redan tidigare kunnat fastslå att den framkallar elektriskt laddade partiklar (aerosoler) i den nedre delen av atmosfären. Dessa fungerar som nukleationskärna för vattendroppar. Därför skulle perioder med ökad aktivitet av kosmisk strålning sammanfalla med mer omfattande molntäcke globalt vilket får solens strålar att i större utsträckning reflekteras bort från Jorden.

Detta ger en avkylande effekt på det globala klimatet. Alltså, i perioder då den kosmiska instrålningen är hög är klimatet på Jorden kallt. När instrålningen är låg är molnbildningen mindre och det globala klimatet varmare (Fig 1).

Shaviv och Veizer påbörjade senare ett gemensamt forskningsprojekt där de studerade den något överraskande korrelationen mellan variationen i kosmisk strålning och de cykliska temperaturförändringar som Veizer tidigare räknat fram från syreisotoperna i kalkskalen. Enligt de två forskarna påvisar korrelationen mellan de två kurvorna att klimatförändringarna under de senaste 520 miljoner åren till två tredjedelar kan förklaras av variationer i kosmisk strålning och endast till en mindre del av CO_2 -halten i atmosfären. Trots den till synes eleganta överensstämmelsen mellan intensiteten i kosmisk strålning, syreisotop-baserade temperaturer och andra geologiska arkiv, har dessa forskares hypotes utsatts för intensiv kritik från många håll. Shaviv och Veizer har å sin sida med eftertryck försvarat sina tolkningar och menar att den etablerade synen på koldioxidens roll i klimatet innehåller flera allvarliga problem. Framtida forskning kommer med stor säkerhet att bättre belysa sambanden mellan koldioxid, kosmisk strålning och Jordens globala klimat. I detta arbete har geologer ett fortsatt viktigt forskningsfält att fylla.

MIKAEL CALNER och VIVI VAJDA är docenter och forskare vid GeoBiosfärscentrum, Lunds universitet. STEPHEN McLOUGHLIN är intendent i paleobotanik vid Riksmuseet, Stockholm.

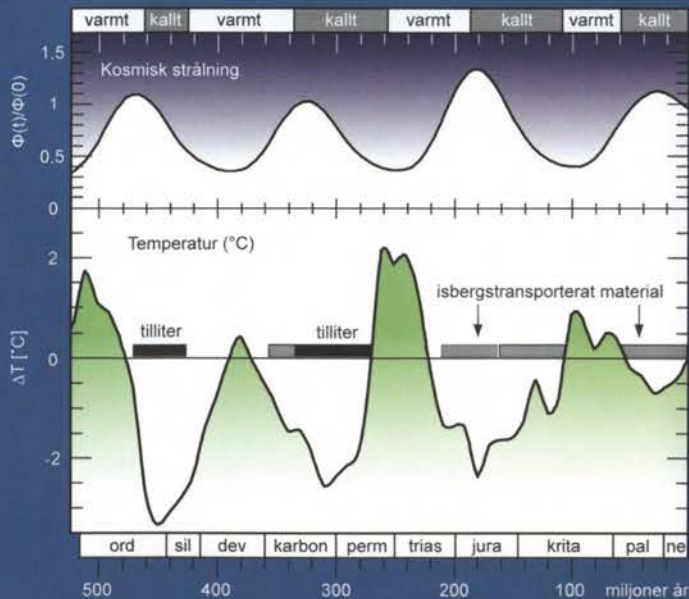


Fig 1. Diagram som jämför variationen i kosmisk instrålning till Jorden med temperaturvariationen i Jordens oceaner under fanerozoisk tid. Sedimentära klimatarkiv såsom den tidsmässiga utbredningen av tilliter och isbergtransporterat material är noterade. Den fanerozoiska tidsskalan, kambrium undantaget, visas i nederkanten. Diagrammet är förenklat och modifierat från Shaviv och Veizer (2003).

Golfströmmen är trög

Det finns inga vetenskapliga belägg för att den så kallade Golfströmmen kommer att stanna av på grund av en ökad växthuseffekt. Strömmen ingår i den globala termohalina cirkulationen, som till sin natur är ett trögt system.

TEXT Anders Stigebrandt

På grund av djupvattenbildningen i norra Nordatlanten transporterar Golfströmmen värme till höga latituder och detta värmetillskott anses allmänt vara huvudorsaken till att Nordvästeuropa har ett mycket mildare klimat än Alaska. I höstas larmade massmedia om att Golfströmmen hade stoppat under tio dagar. Ja, under de senaste tio till 15 åren har det då och då kommit larm om att Golfströmmen håller på att stanna av. Men Förenta Nationernas internationella kommitté för klimatförändring, IPCC, anser i sin senaste rapport att det inte finns belägg för att Golfströmmen håller på att stanna av. (I exempelvis Al Gores film om klimatförändringar, stoppar Golfströmmen, vilket i filmen leder till att Europa klimatmässigt förvandlas till ett nytt Sibirien.) IPCC anser att detta scenario är realistiskt, men anser det däremot sannolikt att Golfströmmen kan försvagas med 25 procent under innevarande sekel vilket är medelvärdet av simuleringar med olika modeller. I denna artikel förklaras hur Golfströmmen fungerar och vad som kan få Golfströmmens transport att ändras. Allmänt ökad kunskap om Golfströmmen bör leda till att bland annat massmedia, för att inte riskera sin trovärdighet, måste kontrollera rimligheten av olika scenarier innan de publiceras.

I vetenskapliga sammanhang är Golfströmmen den nordgående delen av en mäktig horisontell cirkulationscell i Nordatlanten. Den östgående delen av cirkulationscellen kallas Nordatlantiska driften, den sydgående Kanarieströmmen och den västgående Norra Ekvatorialströmmen (Fig. 1). Likartade ström-system, vilka drivs av västvindar på högre latituder och östliga passadvindar på lägre latituder, finns exempelvis i norra Stilla Havet där Kuroshio motsvarar Golfströmmen. Men till skillnad från Kuroshio är Golfströmmen också en länk i en världsomspännande vertikal cirkulationscell, den så kallade termohalina cirkulationen, vilken karaktäriseras av djupvattenbildning främst i norra Nordatlanten. Det nybildade djupvattnet förs med strömmar i djuphavet till övriga oceaner där det genom blandning med lättare ytvatten sakta bringas uppåt mot havsytan. I djupvattnet kommer energin till blandning huvudsakligen från tidvattnet och är därför relativt oberoende av eventuella klimatförändringar. Ett transportband (eng. *conveyor belt*) är en ofta använd metafor för den globala vertikalcirkulationen. En världsomspännande returström av ytvatten mot norra Nordatlanten sluter den termohalina cirkulationen (Fig. 2). Södra Ekvatorialströmmen avlänkar en gren till Nordatlanten vilken svarar för returströmmen av ytvatten från Sydatlanten (Fig. 1). Golfströmmens totala transport bestäms till största delen av vindarna över Nordatlanten men den termohalina cirkulationen ger ett väsentligt tillskott.

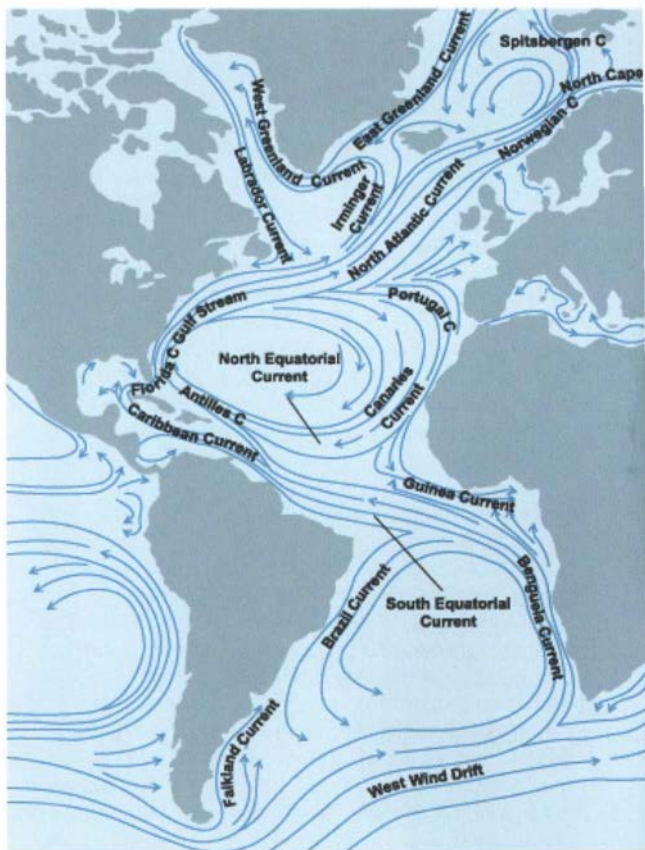


Fig. 1 Översiktlig beskrivning av de storskaliga ytströmmarna i Atlanten. Nordatlantiska Strömmen skickar ut en gren mot höga latituder vilken i vardagligt tal kallas för "Golfströmmen" även om Golfströmmen egentligen i vetenskapliga sammanhang är hela den mäktiga nordgående horisontella cirkulationscellen i Nordatlanten. Notera att Södra Ekvatorialströmmen skickar en gren från Sydatlanten till Nordatlanten. Transporten i denna bör vara lika stor som exporten av djupvatten från Nordatlanten. (Från J. Bartholomew, *Advanced Atlas of Modern Geography*, McGraw-Hill, 3d ed., 1957)

nen (Fig. 2). Södra Ekvatorialströmmen avlänkar en gren till Nordatlanten vilken svarar för returströmmen av ytvatten från Sydatlanten (Fig. 1). Golfströmmens totala transport bestäms till största delen av vindarna över Nordatlanten men den termohalina cirkulationen ger ett väsentligt tillskott.

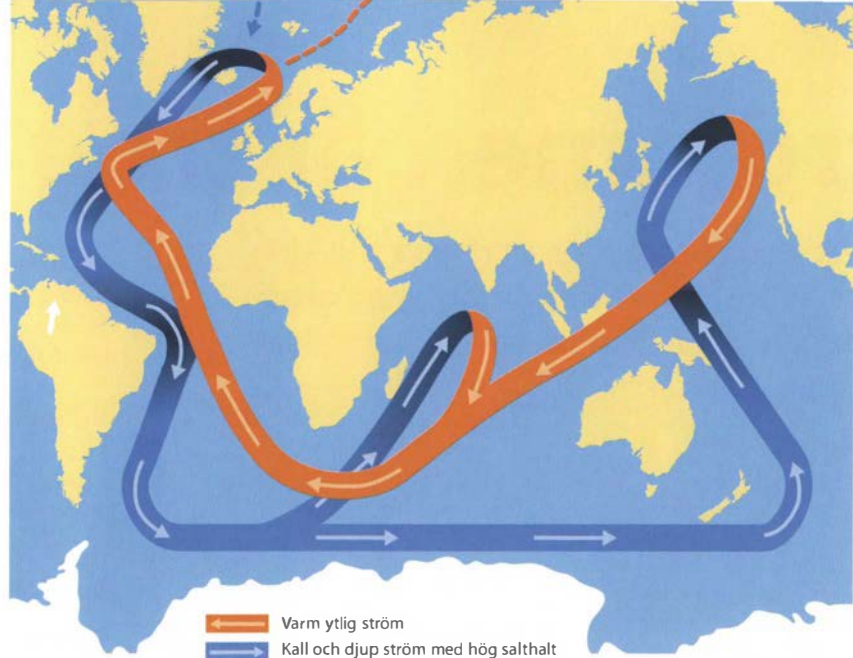


Fig. 2. En förenklad bild av den storskaliga termohalina cirkulationen vilken kan liknats vid ett transportband. Djupvatten (blått) bildas i Nordatlanten och sprider sig med djuphavsströmmar till övriga oceaner där det genom inblandning med lättare ytvatten stiger sakta uppåt vilket bildar en returström av ytvatten (orange) mot Nordatlanten. Illustration: Kungliga Vetenskapsakademien.

Råvattnet för djupvattenbildningen i norra Nordatlanten kommer närmast från den Nordatlantiska driftströmmen från vilken en gren avlänkas norrut. Det är denna gren som ofta kallas "Golfströmmen" i vardagligt tal, vilket alltså inte stämmer med benämningen som används i vetenskapliga sammanhang (Fig. 1), men eftersom den är väl etablerad bland allmänheten i Sverige väljer jag att använda den i denna artikel. Genom så kallade termohalina processer som verkar vid havsytan ökar vattnets densitet i "Golfströmmen" mot högre latituder vilket leder till att vattnet slutligen får så hög densitet att det sjunker ner i djuphavet. Nedsjunkning sker för närvarande både norr och söder om undervattensryggen mellan Skottland–Island–Grönland.

Avkylning, avdunstning och isbildning är de så kallade termohalina processer vid havsytan som ger ytvattnet ökad densitet medan uppvärmning, nederbörd och ismältning ger minskad densitet. För att "Golfströmmen" vatten skall få ökande densitet på sin väg norrut, så att det så småningom kan sjunka ner i djuphavet, krävs att densitetsökningen på grund av avkylning är större än densitetsminskningen på grund av utsötning. Så är fallet för närvarande. Flera klimatforskare har varnat för att en höjning av den globala temperaturen leder till ökad nederbörd på högre latituder och ökad avsmältning av inlandsisen på Grönland. De menar att den ökade färskvattentillförseln kan leda till att det bildas ett ytskikt med relativt låg densitet (salthalt), vilket effektivt skulle sätta stopp för fortsatt djupvattenbildning. Utflödet av djupvatten från norra Nordatlanten skulle ersättas av ett utflöde av ytvatten med reducerad densitet (så kallad estuarin cirkulation). "Golfströmmen" skulle då dyka under ytskiktet och delta i den estuarina cirkulationen men sannolikt med betydligt reducerad transport jämfört med den nutida.

Variationer under istider

Det har argumenterats för att klimatvariationer i Nordatlanten under senaste istiden förstärktes av variationer i den termohalina cirkulationen i Norra Nordatlanten. Externa processer som reglerar tillflödet av färskvatten och is från omgivande kontinenter har antagits kunna initiera sådana variationer. Så kallade Dansgaard/Oeschger-episoder (D/O) karakteriseras av snabb uppvärmning och därefter långsamt fallande temperatur. Det har föreslagits att D/O episoder orsakas av variationer i färskvattentillförseln till Nordatlanten vilka skulle leda till att tyngdpunkten för djupvattenbildningen växlar mellan ett område söder om Island och de nordiska haven.

Så kallade Heinrich-episoder förknippas med stora utflöden av vatten under relativt kort tid från inlandsisar (bland annat i form av isberg). Heinrich-episoderna är kalla vilket har förklarats med att stora utflöden av färskvatten under relativt kort tid från kontinenterna tillfälligtvis skulle kunna etablera ett ytskikt med låg salthalt vilket skulle stoppa den termohalina cirkulationen i norra Nordatlanten.

Varför bildas djupvattnet huvudsakligen i norra Nordatlanten?

För att förstå i vilka områden av havet som djupvatten kan bildas måste man förstå den horisontella salthaltsfördelningen. Denna hänger samman med horisontella transporter av färskvatten i atmosfären och havet. Generellt transporteras vattenånga i atmosfären från subtropiska till subpolara områden. Avdunstningen är större än nederbörden i subtropiska medan det omvända gäller i subpolara områden varför ytsalthalten är högre i subtropiska än i subpolara områden. I en ocean som består av en enda bassäng produceras ett varmt och salt ytvatten i subtropiska områden. Detta rör sig mot högre latituder och på sin väg dit avkyls vattnet samtidigt som det utsöts. Under stationära förhållanden bildas djupvatten i en sådan omfattning att det av atmosfären till högre latituder transporterade sötvattnet kommer att transporteras till-

baka till subtropiska områden av djupvattnet. Det finns sannolikt stora områden av havsytan som har alltför utsötat vatten för djupvattenbildning. Om den atmosfäriska transporten av färskvatten skulle öka så ökar samtidigt salthalten i de subtropiska områdena. Den ökade vattentransporten i atmosfären ger omedelbart upphov till en sjunkande salthalt i subpolära områden medan det tar en viss tid innan det saltare subtropiska vattnet når dessa områden. Svängningar kan därför uppstå i systemet men dessa kan bara tillfälligt störa djupvattenbildningen.

Ytsalthalten i Stilla Havet är cirka 34 gram salt per kilo havsvatten mot cirka 35 i Nordatlanten. Salthaltsdifferensen upprätthålls av en nettotransport av vattenånga i atmosfären från Atlanten (och från Indiska Oceanen) till Stilla Havet. Detta inter-oceaniska atmosfäriska flöde överlagras på det inomceaniska. Det atmosfäriska flödet av färskvatten från Nordatlanten till Stilla Havet är cirka 200 000 kubikmeter per sekund.

Bara en ocean som dels når höga latituder, vilket krävs för avkylning till låga temperaturer, och dels har hög ytsalthalt kan bilda djupvatten för världshavet. Om salthalten är alltför låg får vattnet inte tillräckligt hög densitet vid avkylning. De interoceaniska atmosfärtransporterna av vatten ger Atlanten högst salthalt. Eftersom Atlanten sträcker sig upp till höga latituder kan ingen av de andra oceanerna konkurrera om att producera djupvatten till världshavet. De interoceaniska atmosfäriska vattentransporterna bestäms av produkten av den storskaliga atmosfärcirkulationen och höjden av de storskaliga bergskedjorna. Den senare ändras bara på mycket långa tidsskalor (storleksordning 100 miljoner år). Den storskaliga atmosfärcirkulationen med västvindsbälten och passadvindar finns i alla oceaner och påverkas inte nämnvärt av klimatförändringar. Detta är två grundläggande omständigheter som gör att Atlanten kommer att fortsätta att producera djupvatten till Världshavet även om storleken av de atmosfäriska transporterna av vatten kan förändras något vid klimatförändringar. Djupvattenbildningen i Nordatlanten kan inte stängas av, inte ens under kortare tid, eftersom det inte finns stora mängder av färskvatten på kontinenterna som skulle kunna bilda lock om de strömmade ut i havet.

Vilka variationer i djupvattenbildningen kan förväntas i norra Nordatlanten vid klimatförändringar?

Det finns alltså ingen anledning att förmoda att Nordatlanten inte kommer att fortsätta att producera djupvatten för Världshavet även vid ändrade klimatförhållanden. Tidsskalan för den termohalina cirkulationen är cirka 1 000 år. Det betyder att det tar hundratals år innan förändringar i de interoceaniska atmosfärtransporterna av vatten får effekt på salthaltsfördelningen mellan oceanerna och därmed på den termohalina cirkulationen. Tidsskalan för ändringar av salthaltsskillnaden mellan subtropiska och subpolära områden kan vara mycket kortare och kan ge ändringar av salthalten på nybildat djupvatten. Om en snabb klimatförändring inträder, såg en uppvärmning, så bör

den atmosfäriska transporten av vatten från subtropiska till subpolära områden öka omedelbart och det blir mer nederbörd i de subpolära områdena där ytvattnet blir något mindre salt. Samtidigt blir vattnet i subtropiska områden saltare men det tar relativt lång tid för detta vatten att nå de subpolära områdena. Djupvattnet kommer då att först bli något färskare än tidigare men så småningom ökar "Golfströmmens" salthalt och djupvattnets salthalt ökar igen. Denna typ av variationer i "Golfströmmens" salthalt är väl kända.

Vilken betydelse har ett extra färskvattentillskott från en smältande inlandsis på Grönlands? Den extra tillförseln av färskvatten måste ställas i relation till den totala tillförseln av färskvatten till regionen, som är av storleksordningen 200 000 kubikmeter per sekund, medan den extra tillförseln av färskvatten från den smältande Grönlandsisen har uppskattats till cirka 5 000 kubikmeter per sekund. Eftersom allt färskvatten blandas in i djupvattnet betyder det att salthalten på nytt djupvatten sjunker från cirka 34.92 till 34.91 promille. (Enligt de senaste uppskattningarna minskar dock inte Grönlandsisen utan den växer vilket innebär en negativ färskvattenbalans för isen.) Smältvattnet från Grönland motverkar effekten av det interoceaniska flödet av färskvatten från Nordatlanten till Stilla Havet. Men så länge avsmältningstakten är mycket mindre än denna transport (cirka 200 000 kubikmeter per sekund) blir effekten av avsmältningen obetydlig.

Avslutande kommentarer

Den världsomspännande vertikala meridionala cirkulationen kallas ofta för den termohalina cirkulationen för att markera att den kräver att tyngre vatten skapas av termohalina processer vid havsytan. Cirkulationen drivs dock inte av djupvattenbildningen utan av den vertikala blandningen som bringar upp djupvattnet till ytskiktet. Blandningen i djuphavet drivs av turbulens som till största delen får sin energi från interna vågor som bildas då tidvattnet sveper över ryggar och trösklar i havsbotten. Vertikalcirkulationens storlek bör därför vara oberoende av klimatförändringar. Ökande transport av färskvatten i atmosfären mot högre latituder kan ge reducerad salthalt av djupvattnet. Men djupvattenbildningen upphör inte, möjligen flyttas den till ett annat område. Den huvudsakligen tidvattendrivna blandningen i djuphavet sörjer för att hålla igång den termohalina cirkulationen (och förbrukningen av djupvatten). Transporten av färskvatten mellan oceanerna orsakar avsevärda salthaltsskillnader i oceanernas ytvatten. Oceanen med högst salthalt får monopol på djupvattenbildning. (För överskådlig tid: Atlanten) Systemet har en stor inneboende tröghet. För att djupvattenbildningen skall flytta från Atlanten till exempelvis Stilla Havet måste de atmosfäriska medelflödena av vatten mellan oceanerna byta riktning. Detta skulle kräva en annan atmosfärcirkulation än den vi känner.

ANDERS STIGEBRANDT är professor i oceanografi, Geovetarcentrum, Göteborgs universitet.

Fråga Geologiskt forum

I förra numret efterlyste vi läsarnas frågor kring klimatet och växthuseffekten. Här presenteras fyra frågor ställda av Ingmar Lundström, Uppsala. Svarar gör professor Svante Björck, Geobiosfärscentrum, Lunds universitet. Tack till Er båda för Er medverkan!

Hur unik för den geologiska historien är den temperaturökning som vi nu upplever? Är till exempel atmosfärens nuvarande höga koldioxidhalt en sådan unik faktor? Atmosfärens nuvarande höga koldioxidhalt på 380 ppm har uppfattats som rekord för de senaste 650 000 till 1 000 000 åren, under vilken tid den tidigare aldrig överstigit 300 ppm (Karin Bojs, DN 051204; Erik Huss, Naturvetaren 11, 2006). Men på Geologisektionens temadag om "Geologiska perspektiv på klimatfrågan" i november förra året, påpekade professor Kent Larsson att krittidens atmosfär innehöll 1500 ppm koldioxid (se Erik Huss referat i Naturvetaren 11, 2006). Med andra ord - hur förklarar man de höga halter av växthusgaser som uppenbarligen förekommit i atmosfären långt innan människor uppträtt på jorden?

SVAR: Den snabba CO₂-stigningen är unik och CO₂ värdena är unika om man jämför med de senaste 1 000 000 åren. Efter solaktivitetsmaximum i mitten på 1900-talet finns det ingen annan förklaring på de höjda temperaturerna, speciellt efter 1970. Dessutom borde vi sakta vara på väg mot en kallare värld. Kritperiodens höga CO₂-halter åstadkom också mycket höga globala temperaturer. Så om man nu inte skulle tro på de fysikaliska mekanismer som ligger bakom växthuseffekter - hur skall man då förklara de höga temperaturerna när vi har haft hög CO₂-halt? (reds. anmärkning: Se även Pär Weiheds Sista ordet på sid 40). Historiskt sett kan höga halter av koldioxid förklaras av: 1. Perioder med mycket kraftig vulkanism, då gammalt kol från bland annat litosfären kom upp i atmosfären. 2. Perioder då mindre mängd kol lagras på kontinenterna i form av främst växter och sediment (till exempel torv), men framförallt då mycket mindre kol har lagrats i ma-

rina sediment i form av exempelvis karbonater. Man ska dock komma ihåg att dessa processer hänger samman på ett komplext sätt.

Stiger temperaturen före koldioxidhalten? Tidsdiagram tycks visa att temperaturen faktiskt steg innan koldioxidhalten började öka (se Karin Bojs artikel i DN 051204). Har alltså temperaturökningen utlöst en koldioxidökning i stället för tvärtom? Vad är egentligen hönan och vad är ägget?

SVAR: Det finns fortfarande många frågetecken om kolcykeln som vi arbetar med att lösa, men detta kan man säga: När senaste istiden slutade, beroende på att insolationen till de nordliga relativt höga latituderna började stiga, så steg inte temperaturen på grund av CO₂. Däremot sattes olika komplexa processer hos kolcykeln igång, som till exempel att havsvattnets temperatur steg, vilket ledde till att CO₂ började stiga. Då steg temperaturen ännu mer vilket ledde till att CO₂ steg än mer, osv. Man får med andra ord en så kallad positiv återkoppling (feedback). Till slut går temperatur och CO₂ mer eller mindre "hand i hand", som under inledningen till dagens värmeperiod. Sedan dess har det varit ett komplext samspel mellan kolcykeln och temperaturen.

Finns det iskäror från varmetider? Temperaturdata från tidigare temperaturökningar erhålls tydligen ofta från studier av flera hundratusen år gamla borrhälsur inlandsis. Se till exempel Per Holmlunds artikel om "världens snabbaste glaciär" i Forskning och Framsteg 2, 2006, där det på sida 18 står "Analyser av iskärnan ledde till slutsatsen att Sydgrönland hade varit isfritt före den senaste istiden". Men under de i detta sammanhang så intressanta värmeperioderna bildades väl knappast några inlandsisar? Följaktligen

finns väl knappast några iskärnadata som kan belysa värmeperioder?

SVAR: Under förra värmeperioden, Eem, fanns det en hel del is på Grönland, även om isen var mindre än idag. Den var också förmodligen mindre för cirka 9 000 till 7 000 år sedan. Så visst finns det isdata från värmeperioder, inte minst från Antarktis där man har borrar sig ner genom nästan 1 000 000 år kontinuerlig is. Den hittills äldsta isen på Grönland är cirka 250 000 år. Och glöm inte att vi har mycket fina iskärnadata från den nuvarande värmeperioden.

Det har spekulerats i att en höjning av temperaturen skulle hejda Golfströmmen eftersom dess saltvatten i så fall skulle spädas ut av de stora mängder sötvatten som frigörs när de arktiska isarna smälter. Men om Golfströmmen hejdas, borde väl klimatet i Nordeuropa kylas av? Detta var tydligen fallet under *den lilla istiden* (cirka 1200–1850 e. Kr.) då det samtidigt var jämförelsevis kallt i Nordeuropa och Golfströmmen var relativt svag (Nature, vol. 444, nov 2006). **Skulle man följaktligen kunna hoppas att temperaturvariationerna i atmosfären blir självreglerande?**

SVAR: Många klimatmodeller visar att djupvattenbildningen i Nordatlanten, och därmed också den Nordatlantiska Strömmen, kommer att minska om temperaturen och nederbörden stiger i det nordatlantiska området. Det skulle enligt samma modeller kunna innebära att medan den globala temperaturhöjningen stiger kraftigt drabbas nordvästra Europas klimat av en mindre stigning eftersom vi då skulle få ett klimat som bättre motsvarar våra höga latituder, jämför exempelvis med Alaskas situation.

När forskarna får is att tala

Mycket av det som sker i dagens klimatdebatt handlar om gränslandet mellan vetenskap och politik. Många är involverade i arbetet med att söka svar på frågan om människans effekter på klimatet. Många debatterar. Många gör modelleringar.

Det är lätt att glömma bort **fältdata** mitt i allt detta. Att det finns vittnen till jordens klimat. Som glaciärernas is.

TEXT Aant Elzinga
FOTO Torbjörn Karlin

Genom analys av borrhov ur glaciala skikt i isens djupa arkiv får forskare svar på livsviktiga frågor om klimatförändringar. Data om dessa skikt (isotopanalys)¹ och deras inkaplade luftbubblor (gasanalys)² är utgångspunkt för översättningar till temperaturändringar respektive kurvor, modeller och tolkningar i termer av trender rörande växthusgaser. Dessa **rör matas** i sin tur in i simuleringar av globala kretslopp för att sedan sammanfattas i de uttalanden forskare producerar inför rådgivande utskott (jfr Kyotoavtalet) där det sitter politiker och andra beslutsfattare med ansvar för framtidens klimatpolitik. Isbitar enrolleras så att säga som nyckelvittnen vid förhandlingsbord där forskare talar om en global uppvärmning delvis förorsakat av människan själv. Detta är ett budskap som har fått mycket uppmärksamhet i medierna, inte minst under hösten när Al Gores film *En obekvämt sanning* började visas på bio (*reds. anm.* se även Mark Johnsons recension på sid 36). I filmen ges en lektion om den utökade växthuseffekten. Extremscenariot är att utsläppen ökar, atmosfärens genomsnittliga temperatur stiger, och en framtid kommer där polariserna smält bort, havet täcker lågländer, orkaner och andra naturkatastrofer har tilltagit i styrka. Trots att orsakskedjorna är mycket mer komplicerade med stora trögheter och ofantligt

¹ Ur delmängder av stabila H_2 och O^{18} -isotoper i is från ursprungliga nederbördslager härleds atmosfärens temperatur vid motsvarande tider innan nuet (Before Present, BP) längs en nedstigande kronologisk skala.

² Bestämning av delmängder koldioxid, metan m m, så kallade växthusgaser i bubblorna.

Johannes Freitag från Alfred Wegener Institut paketerar en bit av en iskärna i forskningshallen på Stationen Kohnen, Dronning Maud Land, Antarktis, december 2005.

långa tider, så har senaste tidens blöta och stormiga perioder (som kan vara helt naturliga förlopp) i medierna redan tolkats som en varningssignal i samma riktning. På sikt kan det dock vara som Gore menar, att den globala uppvärmningens effekter på vår jord är en fara "vida större än terrorism" och förtjänar mycket mer uppmärksamhet och omedelbar handling.

Men medierna överdriver och tar fasta på drama och konflikt och blåser gärna upp schismer mellan forskare, ibland på osakliga grunder. En av dem som pekar på detta är klimatforskaren Lennart Bengtsson, tidigare vid Max Planck Institutet för meteorologi i Hamburg. Han riktar fingret mot "personer med starka mediekontakter som finansieras av företag som anser begränsning av fossilt bränsle är till förfång för affärsverksamheten, vetenskapsmän från sidoområden utan grundläggande kunskap inom den moderna klimatforskningen" och andra som sprider desinformation (Göteborgs Posten 070117, Debatt). I USA kallas det för "junk science". I jakt på konflikt och sensation sprids citatfragment tagna – utan ett uns av källkritik – från tankesmedjor i USA vars uppgift är att värna om starka petrokemiska intressen, bilism i amerikansk tappning och konsumentansvaret.

En undersökning av 928 abstrakt från artiklar i den relevanta vetenskapliga litteraturen 1993-2003 visar att påståendet om en schism bland forskare är uppblåst (Oreskes, 2004). Det råder numera stor konsensus kring uppfattningen om en pågående global uppvärmning (Weart, 2003). Trots detta fortsätter media att ta fram ett fåtal "contrarians", så kallade skeptiker som knappast publicerat sig som sakkunniga på området. Tokigt nog lyfts dessas åsikter fram som likvärdiga med rapporterna från International Panel on Climate Change (IPCC).

Förhoppningsvis kan det internationella Polaråret 2007 ge ytterligare vetenskapligt grundade fakta i målet. Viktigt för svensk räkning blir en expedition under ledning av professor Per Holmlund från Stockholms universitet. Längs en travers mellan två forskningsstationer, svenska Wasa och japanska Dome Fuji, båda på Dronning Maud Lands istäcke i östantarktis, ska det bland annat tas en löpande serie borrhov, ett bidrag till framtida kontinentvida "miljökartor". Polaråret innefattar ett par hundra internationella – både natur-

och kulturvetenskapliga – projekt som ska utföras av forskare från minst 60 olika länder med fokus på Arktis och Antarktis.

Det Geofysiska året (IGY) för femtio år sedan, fick till följd att politiska motsättningar mellan stormakter samt Argentina och Chile över territorier i Antarktis omvandlades till fredlig konkurrens och samarbete i forskning, samt ett traktat som fortfarande reglerar samspelet mellan länderna. Så blev Antarktis en plats där forskning fick en dubbel funktion: forskning som politikens fortsättning med andra medel (Elzinga, 1993). Även om det geopolitiska resultatet inte lär bli lika stor denna gång bör det få betydelse för klimatfrågan som ju också är ett konfliktfylld geopolitisk spörsmål.

Den svenska expeditionen drar fram via den tyska Kohnenstationen där europeiska forskare hämtat upp en nästan tre kilometer lång iskärna i ca 3,5 metersbitar genom djupborrning, en verksamhet som i sin tur är en del av ett större nätverk av borrhovstationsstationer. Europeiskt samarbete kring borrhov på Antarktis har pågått i elva år under namnet European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA), ett konsortium där forskare från tio olika länder och ännu fler vetenskapliga discipliner och tekniska fält samarbetar. Hitintills har det kommit närmare 150 vetenskapliga artiklar i framstående internationella tidskrifter med referee-system.³

I sig själva är isens arkiv tysta. För att överhuvudtaget göra de väldiga antarktiska istäcken till arkiv krävs åtskilligt mänskligt arbete och energi, experiment och resonemang (Sigg, 1994). Dessa kopplas ihop i en lång kedja av händelser, alltifrån glaciologens möder i fältet till laboratorieanalys, datorsimuleringar och ständiga litteraturstudier för att vaska fram senaste konsensusbilden över klimatförändringar som sträcker sig tillbaka i tiden över ett flertal istider och mellanglaciala perioder, allt i enlighet med devisen att djupare kunskaper om det förflutna kan ge bättre insikt om vad som komma ska. (Jämför ex. vis med IPCC, 2007 - se sidan 7, detta nr.)

Som ett polarområde är Antarktis mycket känsligt för klimatförändringar. Tack vara kontinentens låga längt ifrån industrialiserade världsdelar fungerar det som "nollpunkt" eller referens i mätning av föroren-

³ Se www.phys.uu.nl/~wwwimau/research/ice_climate/epica/home.html.

Bilden till vänster: 2892 meter över havsytan, stationen Kohnen, Dronning Maud Land, Antarktis, fältsäsongen 2005-2006 vid borrhovet av djupiskärnan EPICA-DML. Bilden till höger: Frank Wilhelms från Alfred Wegener Institut utför underhållsarbete på iskärneborren.



ingar, naturliga såväl som mänskligt producerade. Förekomsten av radioaktivt utsläpp från atom-bombtest, kvicksilver i pingvinägg eller bly som spot-tats ut av australiensiska bilar under åren 1929 till 1979, dvs innan övergången till blyfri bensin, finns klart dokumenterad i det antarktiska isarkivet. Speciellt dramatiskt blev det när Claude Lorius med franska och ryska kolleger vid den förutvarande sovjetiska Vostokstationen djupt inne i hjärtat av Antarktis massiva isfält fick fram borrhov som ledde fram till en rekonstruktion av en 160 000-årig tidslinje med variationer i temperatur där man kunde tydligt "avläsa" en hel interglacial-glacial klimacykel (Jouzel et al., 1987). Man kunde alltså "se" varmare temperaturen mellan två istider, det vill säga cirka 120 000-130 000 år sedan, och den senaste interglaciala tiden som började för 10 000 år sedan. Mellan dessa två perioder var genomsnittstemperaturen 6 °C kallare än den vi upplever i dag. Fluktuationer i temperatur syntes ske i takt med förändringar i volymen på växthusgaserna, koldioxid och metan som hade inkapslats i isens olika skikt över hela perioden på 160 000 år. Sensitivitetsanalys bekräftade regelmässigheten i klimatsystemets förmåga att inkapsla växthusgaser ut atmosfären (Lorius et al., 1990). Nyare resultat - rapporterat 2004, 2005 och 2006 - inte bara från Vostok men också EPICAs två stationer, Dome C och Kohnen, samt djupa japanska prov (Dome F) för analysen ännu längre tillbaks i tiden. Från Dome C i Antarktis har man borrarat upp en 3,2 kilometer lång iskärna. Analysen hittills spänner klimatologiska data för de senaste 800 000 åren, och mer är att vänta när hela längden studerats. Därmed ökar den bakgrundsinformation mot vilken vår egen tids globala uppvärmning avtecknas i skarpare relief (Epica Community 2005 och 2006). Dagens koldioxidnivåer framstår som betydligt högre jämfört med tidigare.

Borring i fältet är endast en del i en lång kedja av tekniska och vetenskapliga grepp - i en process som för över från vetenskap till politik. Förhandling sker om vem som bestämmer över vilka delar av iskärnorna för vidare analys. Främsta faktorn är den kompetens, skicklighet, utrustning och tidigare succéer ett lands forskare kan uppvisa då man sluter avtal om multinationellt samarbete. En annan viktig faktor är storleken på de ekonomiska resurser som ett land har investerat i logistiken för att komma fram till borrhovplatsen eller in-

När borringen avslutade för EPICA-DML var den totala längden på iskärnan 2774 meter, vilket motsvarar istjockleken på platsen.



frastrukturen kring den (här har Tyskland kunnat spela ett vinnande kort med Kohnen stationen). Borrhovproven transporteras till förvar i forskarnas hemmalaboratorier där delar av isen och dess "fångar", luftbubblorna, frigörs och utsätts för mer sofistikerade "korsförhör" i form av många slags kemiska analyser som i sin tur tjänar som underlag i datormodellering. Trendanalysen bygger på ställföreträdande variabler framtagna ur isens väldiga arkiv rörande motsvarande förändringar i gångna tiders atmosfär med varierande delmängder växthusgaser och andra spårämnen. Resultatet presenteras i eleganta grafer i ledande vetenskapliga tidskrifter. Vetenskapsmännens planer i forskningsprogrammen utgör ibland plattformar i förhandlingar mellan representanter av olika länder och discipliner - om den ordning i vilka olika forskarnamn ska förekomma som författare i en tidskriftsartikel.

De forskare som konstruerar klimatmodeller återfinns närmare den politiska arenan. Det är genom deras modeller pusselbitarna förs samman till mer enhetliga bilder som kan paketeras för "politiskt" bruk. Glaciologen har ett handikapp här jämfört med de forskare som syntetiserar och simulerar trendutveckling med stordatorer. Som en forskare uttryckte det, så tar det några veckor för en modellare att kalkylera de data som fältforskaren använt tio år för att insamla. Ändå är det i fält som processens "nyckelvittnen" måste letas fram, de som kan berätta om klimatväxlingen på jordklotet över långa perioder.

AANT ELZINGA är professor emeritus i vetenskapsteori, Göteborgs universitet.

REFERENSER

- Elzinga, Aant (ed.) 1993: *Changing Trends in Antarctic Research*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Epica Community members 2005: *Eight glacial cycles from an Antarctic ice core*. *Nature* 429, 623-628.
- Epica Community members 2006: *One-to-one coupling of glacial variability in Greenland and Antarctica*. *Nature* 444, 195-198.
- Jouzel, J et al. 1987: *Vostok ice core: a continuous isotope record over the last climate cycle (160,000 years)*. *Nature* 329, 403-407.
- Lorius, C. et al. 1990: *The ice-core record: climate sensitivity and future greenhouse warming*. *Nature* 347, 139-145.
- Oreskes, N. 2004: *The scientific consensus on climate change*. *Nature* 432, 610-614.
- Sigg, A. et al. 1994: *A continuous analysis technique for trace species in ice cores*. *Environmental Science and Technology*, 28:2, 204-209.
- Weart, S.R. 2003: *The discovery of global warming*. London: Harvard University Press. För utökad elektronisk version se www.aip.org/history/climate.

En gång var "snöbolls-jorden"

*Dramatiska klimatförändringar har drabbat vår jord allt sedan den bildades för över 4,5 miljarder år sedan. Under den tid av jordens utveckling som kallas för **neoproterozoikum**, för 1000 till 540 miljoner år sedan, finns det starka bevis för att jorden var **globalt nedisad**. Då var förmodligen också större delen av oceanerna isbelagda. Kanske såg jordklotet, betraktat från rymden, ut som en snöboll? Detta kallar forskarna för snöbolls-jorden.*

TEXT Pär Weihed

Inte bara för de som arbetar med samtiden, utan även för forskare som jobbar med jordens äldsta historia är klimatvariationer en central fråga. Under de senaste tio till 15 åren har fler och fler bevis presenterats för att de mest dramatiska klimatvariationerna i jordens historia ägde rum för mer än 500 miljoner år sedan under den tid i jordens utvecklingshistoria som vi kallar för neoproterozoikum. Det finns mycket som talar för att jorden under denna tid var totalt täckt med is och snö vid flera tillfällen. Hypoteserna om dessa gamla nedisningar av kolossalformat kallas för snöbolls-jorden (*eng. Snowball Earth*).

En av de första som väckte frågan om att jorden möjligen kan ha varit helt täckt av snö och is var Brian Harland vid universitet i Cambridge i början av 1960-talet. Han påpekade att glaciala avlagringar, liknande de vi känner från vår senaste nedisning, var påfallande vanliga i neoproterozoikum. Vid denna tidpunkt gick det emellertid inte att definitivt fastslå på vilken latitud dessa avsättningar hade bildats, dels beroende på att den paleomagnetiska forskningen inte hade fått sitt genombrott och dels beroende på att man inte oberoende kunde datera dessa avsättningar tillräckligt noggrant. De talrika förekomsterna av neoproterozoiska glaciala sediment på olika platser i världen kunde i princip ha bildats vid polerna vid olika tidpunkter när kontinenterna på grund av kontinentaldriften befunnit sig på höga latituder. Joe Kirschvink vid Carlifornia Institute of Technology analyserade på 1980-talet den naturliga remanenta magnetiseringen i en mängd prover från dessa neoproterozoiska avlagringar, framför allt från södra Australien, som bevisligen inte befunnit sig nära ekvatorn under de senaste 400 miljoner åren. Det senare är

viktigt eftersom prover som befunnit sig nära ekvatorn efter det att de har avsatts, av olika anledningar kan ha blivit remagnetiserade och följaktligen visar felaktiga palaeomagnetiska åldrar. Dessa analyser bekräftade att södra Australien vid tiden för avsättningen av de glaciala sedimenten hade befunnit sig nära ekvatorn!

Vad som är viktigt att komma ihåg är att det naturligtvis även vid ekvatorn kan finnas glaciärer på hög höjd. Därför var resultaten från södra Australien så oerhört viktiga eftersom de glaciala avsättningarna där är intimt kopplade till sediment avsatta i tidvatten-miljö, det vill säga vid havsnivån. Genom att studera skiftningar i de magnetiska polerna, avspeglade i dessa sediment, har man senare också uppskattat att nedisningen troligen varat i flera miljoner år.

Hur kan en global nedisning uppstå? Och när den uppstår – varför försvinner den – som den ju bevisligen gjort? För att svara på dessa frågor får man utgå från jordens energibalans.

Jordens klimat är ytterst en funktion av hur solstrålningen samspekar med jordens yta och atmosfär. En del av de cirka 343 W/m² strålning som jorden får från solen reflekteras tillbaka till rymden från till exempel molnen och jordytan, men största delen absorberas av jordytan och atmosfären vilket medför att temperaturen höjs (och gör att vi människor kan leva här!).

Reflektion från jordytan mäts med vad som kallas albedovärde. Ju högre värde, desto mer strålning reflekteras tillbaka till rymden med sjunkande temperatur som följd. Snö och is har högt albedovärde och desto mer snö och is som finns, ju mer energi reflekteras tillbaka till rymden med sjunkande temperatur som konsekvens. Enligt vissa modeller gör is och snö, som bildas närmare ekvatorn än en kritisk latitud (cirka

30 grader N och S), den positiva återkopplingen av albedoeffekten så stor att jorden ytemperatur drastiskt sjunker med en totalt nedisad jord, en snöbolls jord, som följd.

En hypotes om varför detta skedde i neoproterozoi-kum är att de flesta kontinenterna för 600–700 miljoner år sedan befann sig vid ekvatorn vilket enligt vissa forskare medför att jordens atmosfär inte har möjlighet att innehålla koldioxid (en växthusgas) över en viss kritisk mängd. Om mängden koldioxid i atmosfären långsamt sjunker på grund av minskad vulkanisk aktivitet skulle den globala temperaturen sjunka. Normalt hindrar istäcken kemisk vittring och därmed processen som omvandlar koldioxid till karbonater, vilket stabiliserar koldioxidhalten i atmosfären. Om inget sådant hinder finns, då till exempel alla kontinenter befinner sig vid ekvatorn, kommer den minskade mängden koldioxid att omvandlas till karbonater och jorden bli ännu kallare och närma sig snöbollsstadiet.

Vad finns det för ytterligare bevis för globala nedisningar för 600–700 miljoner år sedan? Ja, några av svaren hittar vi i de geologiska formationer som stratigrafiskt omger de glaciala avsättningarna, både så kallade bandade järnformationer (*eng.* banded iron formations, BIF) och dolomitavsättningar (*eng.* dolostones).

Låt oss börja med de bandade järnformationerna. Bandad järnmalm, av den typ som finns i till exempel Bergslagen, har historiskt varit en av de viktigaste käl-

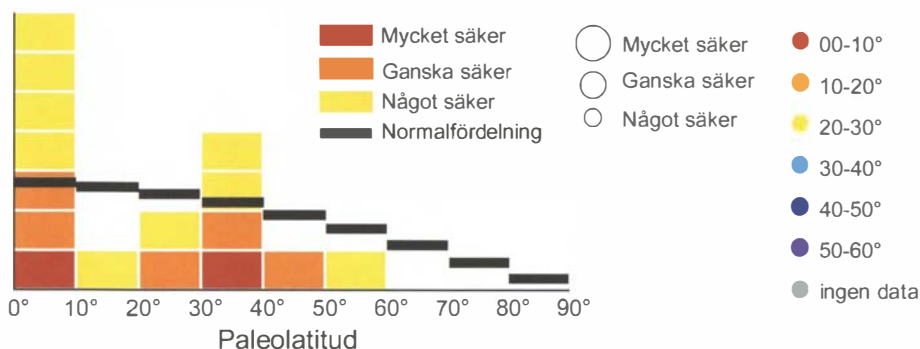
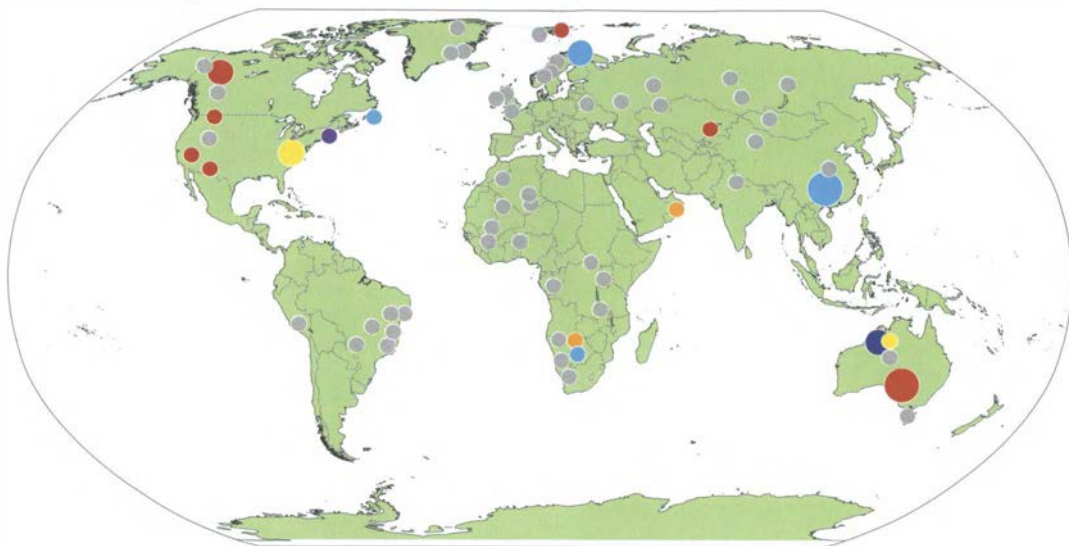
lorna till järn. Dock är de allra flesta bandade järnformationer som finns runt om på jorden betydligt äldre än de globala nedisningarna, de flesta äldre än 1850 miljoner år jämfört med nedisningarna som är runt 600–700 miljoner år.

Att det inte finns yngre järnformationer beror på syresättning av atmosfären och oceanerna. Dagens havsvatten innehåller mindre än 1 ppb järn eftersom den oxiderade formen Fe^{3+} är relativt olöslig. Däremot är den reducerade formen Fe^{2+} relativt lös. För 1850 miljoner år sedan innehöll atmosfären relativt lite fritt syre och vattnet i de djupa oceanerna innehöll relativt rikligt med järn. När dess djuphavsvatten steg mot ytan som innehöll mer oxiderande ytvatten fälldes järnet ut (Fe^{2+} oxideras till Fe^{3+}). När atmosfären och oceanerna sedan blev syrerikare avstannade denna utfällning när allt järn fällts ut.

Det enda sättet att förklara att man påträffar bandade järnformationer i anslutning till de glaciala avlagringarna som är mer än en miljard år yngre, är att de djupa delarna av oceanerna återigen på grund av global nedisning blev reducerande vilket kunde bygga upp halten av löst järn. När så glaciationen upphörde, och oceanerna återigen blev oxiderande inträffade samma process igen tills dess allt järn fällts ut. Således är dessa bandade järnformationer ett mycket bra bevis på redoxförhållanden i jordens utvecklingshistoria.

Foto på så kallade "dropstones" eller droppstenar, från en av de viktigaste nyckellokalerna i Namibia, för hypotesen om snöbolls-jorden. Droppstenarna på bilden är upp till 1 meter i diameter (se hammaren som skala under den största stenen i mitten av bilden). Generellt tolkas droppstenar som större glacialeroderade block av olika bergarter som följt med isar ut till havs. Väl ute till havs lossnar de från botten av isen och ramlar ned i finkorniga sediment. Foto: Pär Weihed.





Global fördelning av neoproterozoiska glaciala avlagringar baserat på paleomagnetiska data. Histogrammet visar fördelningen baserat på paleolatitud. Notera hur nära ekvatorn de flesta glaciala avlagringar är avsatta. Bilden är modifierad från Hoffman och Schrag, *Terra Nova* 14, 2002.

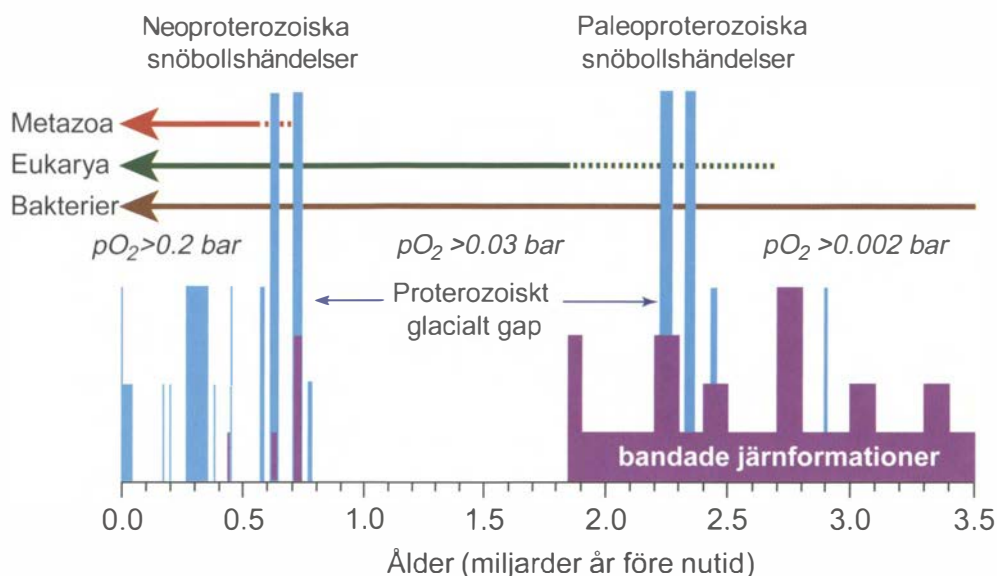
Så till dolomitavsättningarna. Dolomit är ett karbonat-mineral som består av calcium-magnesiumkarbonat, CaMgCO_3 , som bildas som ett kemiskt sediment under relativt varma förhållanden. George Williams vid universitetet i Adelaide hade tidigt noterat att alla glaciala avsättningar i Australien överlagrades konkordant, det vill säga i en kontinuerlig lagerföljd, av dolomit-avsättningar som sedan fick namnet "cap dolostones". Efterhand visade det sig att dessa dolomitavsättningar var en global företeelse och således indikerade att ett kallt klimat snabbt följdes av ett mycket varmt klimat.

Enligt Paul Hoffman och Daniel Schrag vid Harvard-universitetet och Joe Kirschvink med flera är platttektoniken förklaringen till denna snabba förändring. Som de flesta vet har växthusgasen koldioxid en viktig kontrollerande roll för jordens klimat. Bortsett från antropogena effekter kontrolleras koldioxidbalansen i huvudsak av tillskott från vulkanisk aktivitet och avsättning (bortförsel) genom kemisk vittring och

reaktioner med Ca^{2+} -rika silikatbergarter vilka omvandlar koldioxiden till calciumkarbonater vilka begravs i sediment. Under en global nedisning fortgår tillskottet av koldioxid från vulkanism till atmosfär och oceaner på grund av platttektoniken.

Däremot är vittringshastigheten mycket låg eftersom inget flytande vatten är tillgängligt på kontinenterna, vilket i sin tur innebär att halten koldioxid kan öka till extrema nivåer i atmosfären (eftersom ingen silikatvittring frigör kalcium för bildandet av karbonater).

Till slut kommer de extrema halterna av koldioxid att överskugga effekterna av isalbedot. Glaciationen upphör. Enligt vissa beräkningar krävdes över 350 gånger dagens koncentrationer av koldioxid i atmosfären för att snöbolls jordens saga skulle vara all! Och enligt andra beräkningar skulle havsytans temperatur i tropiska områden då ha varit runt 50°C . Den globala deglaciationen kan ha gått så fort som på några få hundra år!



Åldersfördelning för kända bandade järnformationer (lila), kända glaciationer (blått), atmosfärens syrehalt samt viktiga steg i livets utveckling. Notera särskilt sambandet mellan järnformationer och glaciationer och gapet på 1,2 miljarder år mellan de äldre järnformationerna och de yngre. Att järnformationerna slutade bildas för 1850 miljoner år sedan beror troligtvis på att oceanerna då syresatts och allt järn fällt ut. Nybildningen vid ungefär 700 miljoner år före nutid tolkas bero på globala nedisningar vilka gjorde oceanerna reducerande så att järnhalten återigen kunde byggas upp. Bilden är modifierad efter Hoffman och Schrag, Terra Nova 14, 2002.

Paul Hoffman har under de senaste 15 åren arbetat mycket i framför allt Namibia för att bekräfta alla dessa teorier om snöbollsjorden. Främst nya data om förändringar i C-isotopsammansättningen i anslutning till de glaciala avlagringarna och "cap dolostones" talar sitt tydliga språk. Kol i haven och i atmosfären kommer från vulkaner och innehåller ungefär en procent av isotopen ^{13}C och 99 procent av isotopen ^{12}C . Organiskt kol innehåller ungefär 2,5 procent lägre ^{13}C jämfört med kalciumkarbonat (CaCO_3) och idag blir cirka 20 procent av det kol som tillförs haven bundet i organiskt material vilket innebär att dagens kalciumkarbonater är anrikade ungefär 0,5 procent med avseende på ^{13}C . Karbonater precis under de neoproterozoiska avlagringarna är anrikade upp till 1,5 procent med avseende på ^{13}C jämfört med det kol som kommer från vulkaner vilket alltså är mycket mer än dagens karbonatsediment. Detta innebär att nästan hälften av det kol som avsattes från de neoproterozoiska haven var organiskt kol, men alldeles under de glaciala sedimenten blir ^{13}C -innehållet liknande det vulkaniska för att sedan återgå till ursprungsvärden en bit upp i lagerföljden i "cap dolostones". Detta tolkas som en abrupt nedgång i biologisk aktivitet (produktion av organiskt kol) som en konsekvens av att haven blev täckta med is. Med andra ord – bevisen för de kanske mest dramatiska klimatförändringarna som ägt rum på jorden växer. Idag pratar man om flera globala nedisningar, eller snöbollsjordar: en med namnet **Sturtian** och en för cirka 640 miljoner år sedan med namnet **Marinoan** är de bäst dokumenterade. Fler snöbolls-

jordar har föreslagits och bevis för dessa undersöks för närvarande. Det skall sägas att det finns skeptiker som inte delar Paul Hoffmans, Joe Kirschvinks med fleras idéer, men medge att bevisen är ganska starka. Det vi med säkerhet vet är att vi närmar oss nästa istid. Blir det ännu en snöbollsjord?

P.S. För dem som vill läsa mer om Snöbollsjorden finns en utmärkt webbplats www.snowballearth.org med mycket material och många referenser. Mycket av materialet i denna artikel är hämtat därifrån.

PÅR WEIHED är professor i malmgeologi och prefekt vid institutionen för tillämpad kemi och geovetenskap vid Luleå tekniska universitet.



Förkastningshak utbildade i såväl berggrund som i överlagrande moränheter, visar att kraftiga berggrundsrorelser har skett i Sverige under den senaste inlandsisens avsmältningsskede eller strax därefter. Vid Rönjoret, cirka fyra mil väster om Skellefteå, finns ett uppgrävt och sparat schakt som mycket tydligt visar händelseförloppet. Foto: Robert Lagerbäck.

Databas över geovetenskapligt värdefulla lokaler i Sverige

Det finns ett växande behov av information om geologiska naturvärden och sevärdheter. Det finns även behov av verktyg att hantera sådan information inom samhällsplanering och vetenskap. Nu pågår ett arbete med att bygga upp en databas med information om geologiska nyckellokalerna – lokaler som tillsammans visar på Sveriges geologiska utveckling.

TEXT Gunnel Ransed, Lars Karis, Sven Lundqvist,
Linda Wickström

I SGU:s (Sveriges geologiska undersökning) dokumentationsverksamhet ingår bland annat fördjupad dokumentation om geovetenskapligt betydelsefulla lokaler. En viktig målsättning i arbetet är att skapa en svensk databas över sådana lokaler som tillsammans visar landets geologiska uppbyggnad och utveckling – och vi som arbetar med detta vill försöka engagera geologiintresserade runt om i landet, yrkesfolk liksom amatörer, att bidra med observationer och dokumentation för att göra kunskapsbasen så fullständig som möjligt.

Genom det ökande trycket från många exploaterande samhällssektorer har det efter hand vuxit fram en ökad medvetenhet om olika naturvärdens sårbarhet. En brist på insikt om naturvärden i ett område man tänkt exploatera kan innebära att man ödelägger miljöer som är vetenskapligt unika eller speciellt värdefulla ur allmän natursynpunkt. Det är också viktigt att kunna bedöma hur olika ingrepp kommer att påverka ett område. Därför är kunskapen om den historisk-geologiska utvecklingen lika relevant som kännedomen om det faktiska läget och utbredningen av olika jord- och bergarter. I både förarbetena och den år 1999 fastställda miljöbalken framhålls att man ska kunna spara representativa exempel för bland annat framtida forskning och rekreatiönsändamål.

Geologiska naturvärden

För att göra en riktig bedömning av ett områdes naturvärde måste man naturligtvis även ta hänsyn till de geologiska värden som finns representerade. Till skillnad från många biologiska naturvärden som kan återställas, kan de geologiska gå förlorade. Värdet av en lokal (kan vara ett område) bestäms av hur väl den

illustrerar en geologisk företeelse, händelse, process eller ett utvecklingsmönster, det vill säga hur representativ den är.

Det finns också ett mervärde i att visa på samspelet mellan geologi och andra natur- och kulturvärden. Förutom de geologiska aspekterna kan lokalerna samtidigt vara värdefulla av andra vetenskapliga, kulturella, pedagogiska, ekonomiska eller estetiska anledningar.

Exploatering och bevarande

Samhället kräver ständigt nya utrymmen för utvidgande av infrastruktur och annan byggnation. I samband med exploatering händer det i många fall att geologin tillfälligt blir väl blottlagd. Dessa tillfällen ger en unik möjlighet att dokumentera geologi som i annat fall skulle vara otillgänglig och det ökar vår kunskap om geologin i området både på ytan och på djupet. Ibland visar det sig då också att blottningarna innehåller höga geovetenskapliga värden. En dialog och överenskommelse mellan bevarandebemyndigheter och exploaterare kan därför i många fall säkerställa att en del av det geologiska naturvärdet bevaras, dokumenteras och blir tillgängligt för framtiden. Idag finns tyvärr varken en formell eller informell överenskommelse mellan geologer och samhällsbyggare om en sådan dokumentation.

Många viktiga geologiska naturvärden har genom åren fått lagligt skydd i form av naturminnen och reservat, eller har klassificerats som geologiska riksvärden i samband med arbetet som rör riksintresse för naturvård. Dessa områden finns beskrivna genom en offentlig dokumentation som har till syfte att ge den intresserade information om det som området har att



Unikt norrut. Området runt sjön Rakkur, cirka tre mil nordnordväst om Arvidsjaur, är det som bäst visar landavsatta vulkaniska bergarter i södra Norrbotten. Det är också den enda kända platsen i regionen där obsidian, eller vulkaniskt glas, är bevarat. Foto: Benno Kathol.

Områden av riksintresse för naturvård...

... kan innehålla en eller flera olika riksvärden. Dessa delas in i odlingslandskap (samt ångar och betesmark); våtmarker; skog; sjöar och vattendrag; marina miljöer; geovetenskapliga objekt; fjäll, samt övrigt (arter).

erbjudas i form av naturvården. I många fall väcker upplysningarna samlarinstinkten hos människan och brott mot skyddsförordningen är inte ovanlig då personer samlar mineral, fossil, bergarter med mera, utan tillstånd. Det är inte helt ovanligt att sådana "stulna" objekt dyker upp för försäljning. Det väcker frågan om viss information om lokaler med speciellt värdefulla förekomster enbart skall göras tillgänglig för en mindre krets direkt berörda kommuner och myndigheter.

SGU:s roll

Enligt vår bedömning finns ett stort behov av nationell samordning av frågor som rör geologiska naturvärden. Förväntningar på SGU, som central myndighet för frågor som rör Sveriges geologi och grundvatten, att axla denna roll märks av från skilda håll. Detta ingår dock inte i den nu gällande myndighetsinstruktionen. För att kunna uppfylla SGU:s förväntade roll att bistå samhället med relevant geologisk information måste vi dock ha en god överblick över geologiskt värdefulla lokaler. Därigenom skulle vi också kunna stödja det nationella arbetet som rör lagstadgat naturskydd liksom översyn och uppdatering av riksintressen för naturvård och friluftsliv. Detaljerade uppgifter om naturreservat, naturminnen och områden

av riksintressen för naturvård och friluftsliv finns endast på regional nivå, där de olika länsstyrelserna hanterar uppgifterna på uppdrag av Naturvårdsverket.

Den senaste översynen av områden av riksintresse för naturvården genomfördes 1996 till 1999. Då fick SGU i uppdrag av Naturvårdsverket att revidera befintlig dokumentation om de geovetenskapliga riksvärdena. I samband med översynen stod det klart att en nationell databas för dessa värden behövdes.

Behovet av en rikstäckande databas för geologiska naturvärden

SGU har de senaste åren börjat arbeta fram underlag och en prototyp till en databas, som ska rymma standardiserad information om geologiskt värdefulla lokaler. Målsättningen är att skapa ett väl dokumenterat nätverk av lokaler som skall visa upp geovetenskapliga företeelser av betydelse på olika nivåer: lokal, regional och nationell nivå. Bland lokaler med nationellt intresse kan så småningom ytterligare prövning ske genom internationellt samarbete där man prövar om lokalerna har transnationellt eller till och med globalt värde. Allteftersom ny kunskap och förslag på nya lokaler tillkommer, måste värderingarna regelbundet uppdateras.

Långban i Värmland är en av världens mineralrikaste platser. På bilden syns varp och Nya Schaktets lave. Foto: Erik Jonsson.



Bara för att en lokal värderas geovetenskapligt och förs in i den planerade databasen får den inte automatiskt skydd. Däremot sprids information till länsstyrelser och beslutsfattare, och på så sätt kan lokalernas värden ändå bli uppmärksammade. En nationell databas kan också användas som underlag för beslut om skydd (till exempel naturreservat) som fattas av länsstyrelsen eller Naturvårdsverket. Inte minst är en databas värdefull eftersom kommuner och länsstyrelser som regel inte har tillräcklig tillgång till geologisk kompetens för att kunna tillgodose behovet av den här typen av information. Givetvis kan informationen utnyttjas för fysisk planering, översiktsplaner, undervisning och turism.

En databas blir dessutom ett verktyg för att föra upp diskussionen på en internationell nivå vid värdering och klassificering av viktiga geologiska lokaler. Detta sker idag genom ett europeiskt samarbete som syftar till informationsutbyte i frågor som rör geologiskt naturvårn, genom organisationen *The European Association for the Conservation of the Geological Heritage*, mer känt genom arbetsnamnet ProGEO (se faktaruta).

ProGEO driver den europeiska delen av projektet GEOSITES, som syftar till att på global nivå välja ut de lokaler som bäst representerar en viss geologisk händelse, en viss typ av geologi med mera. Urvalet av svenska kandidatlokaler bör arbetas fram av geologiskt sakkunniga vid universitet, länsstyrelser, kommuner och SGU.

Tillskott till nätverket av lokaler

Inom dokumentationsverksamheten på SGU arbetar vi nu med att som första steg uppdatera den befintliga informationen om geovetenskapliga riksvärden för anpassning till de nya krav som databasen ställer. I samband med denna genomgång sker också ett första urval av lokaler som kan vara aktuella som kandidater till det internationella GEOSITE-projektet. Vid behov kompletteras också listan av andra geologiska lokaler som bedöms vara av nationell betydelse.

Inom SGU:s löpande undersökningsverksamhet uppmärksammas då och då geologiska lokaler som på ett ovanligt bra sätt visar ett speciellt geologiskt fenomen och som kan bidra till nätverket av geovetenskapligt värdefulla lokaler. Även enskilda yrkes- och amatörgeologers bidrag är mycket värdefulla eftersom de kan ha större möjligheter att lokalt bevaka nya geologiska uppslag och bidra med viktig kunskap.

Vi har nu påbörjat ett arbete som förhoppningsvis skapar verktyg för att möta växande och redan stora behov – inom vetenskap och samhällsplanering.

Statsgeologer GUNNEL RANSED, SVEN LUNDKVIST och LINDA WICKSTRÖM vid SGU i Uppsala. LARS KARIS är pensionerad 1:e statsgeolog.



Övre och nedre bild. Skånska lokalen GSSP (Global Stratotype Section and Point) Fågelsång. I den övre bilden syns den gyllene bulten som markerar den undre gränsen för den övre delen av tidsperioden ordovicium. Den gyllene bulten utgör världsstandarden för denna viktiga stratigrafiska gräns som finns vid Fågelsångens naturreservat nära Lund. Foto: Esko Daniel.

ProGEO

ProGEO, The European Association for the Conservation of the Geological Heritage har en egen hemsida www.progeo.se:

- Arbetar för att främja skyddet av Europas karaktäristiska landskapstyper, liksom dess mångfasetterade arv av geologiska fenomen, många av stor vetenskaplig och kulturell betydelse.
- Verkar också för att stärka internationellt samarbete och att främja initiativ inom forskning, inventering och förvaltning av vårt geologiska arv.
- Strävar mot gemensamma europeiska riktlinjer för geologisk naturvård, företrädesvis i samklang med andra natur- och kulturvårdsobjekt.



Hur gammal är jorden och hur vet vi det?

Historiskt sett har jordens ålder bestämts flera gånger. Både kyrkans och naturvetenskapens män har haft synpunkter. Modern vetenskap visar att jorden är omkring 4,5 miljarder år. Men hur har man egentligen kommit fram till detta?

TEXT Mats E. Eriksson

Redan de klassiska filosoferna funderade över hur universum och jorden är uppbyggda och fungerar. Vid en historisk tillbakablick finns det många exempel på briljant tänkande och nästan lika många exempel på motsatsen. Men när man sätter allt i sitt sammanhang, med de rådande förutsättningarna (kunskapsbasen och det rådande vetenskapsklimatet) i åtanke, ter sig många gånger de smått humoristiska idéerna mindre skrattretande och de goda tankegångarna rentav geniala.

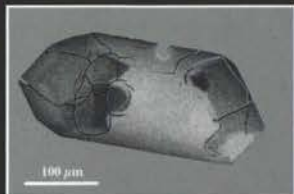
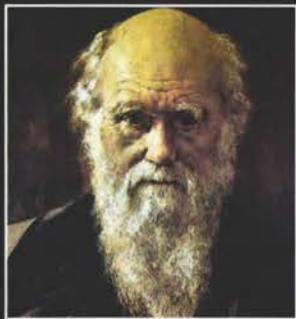
När man betraktar problematiken i ett historiskt perspektiv måste man även ha i åtanke att kyrkan och vetenskapen under lång tid var starkt kopplade till varandra. Vetenskapsmän som försökte förklara så abstrakta begrepp som jordens ålder och inte hade någon förankring i religionen blev ofta mycket hårt ansatta. Därför var det länge en "sanning" att man med bibelns hjälp kunde räkna ut att jorden var omkring 6000 år gammal (med dagens tideräkning).

Ett intressant exempel är biskop James Ussher som 1658 med hjälp av bibeln räknade ut att jorden skapats 4004 år före Kristi födelse. Ussher kunde till och med sätta ett exakt datum för detta och påstod att det skedde den 22 oktober samma år. Ett annat exempel på

kopplingen religion och vetenskap är att vissa tidiga geologer förklarade fossil, som hittades i bergväggar mitt inne på torra land, med att de skulle vara lämningar av djur som dött under den påstådda flodvåg då bibelns Noa tog sitt pick och pack, lite kreatur och begav sig av.

Många naturvetenskapsmän vid denna tid hade minst sagt svårt att smälta att jorden skulle vara några tusen år, eftersom de genom att i fält studera sedimentationsmönster och relationen mellan olika bergartslager med olika fossila fynd, insett att jorden måste vara mycket gammal och att det rörde sig om år-miljoner snarare än årtusenden.

Därför var det en lättnad för många när den store vetenskapsmannen och fysikern William Thomson (mer känd som Lord Kelvin) började beräkna jordens ålder. Även om Kelvin var en andäktig man så kunde han inte acceptera en ålder på några få tusen år bara för att någon bestämt sig för att bibeln sade så. Genom att mäta hur hastigt bergarter svalnade och hur heta de djupaste gruvschakten var kom Kelvin 1862 fram till att jorden måste vara cirka 100 miljoner år gammal. Det intressanta med denne lord var att: ju mer han räknade desto yngre blev jorden. Efter flera revisioner hade



Synen på jordens ålder har varierat historiskt sett. Betydelsefulla personer i sammanhanget är bland annat Lord Kelvin, Charles Darwin och makarna Curie. Bilderna är publicerade med tillstånd från Glasgow University Library (Lord Kelvin), sajten www.biografiasyvidas.com (Charles Darwin), The Emilio Segrè Visual Archives, American Institute of Physics (makarna Curie). Med hjälp av mineralet zirkon kan åldern på bergarter idag bestämmas mycket exakt. Fotot på zirkon från Ulf Söderlund, Lunds universitet.

Kelvin, många år efter att han presenterat sin första ålder, kommit fram till att jorden borde vara mellan 20 och 40 miljoner år gammal och att den yngsta av dessa åldrar förmodligen låg närmast sanningen. Detta var fortfarande ett långt tidsperspektiv och vissa samtida geologer var någotsånär nöjda, åtminstone om man jämför med "bibelåldrarna".

Eftersom Kelvin var en mycket aktad och respekterad forskare och vetenskapsman var det få som ifrågasatte hans teser. En av dessa var dock Charles Darwin. Han hade mycket svårt att ta till sig detta "korta" tidsspän då det inte alls passade ihop med hans evolutionsteori; det var helt enkelt alldeles för lite tid. Kelvins beräkningar hade grundat sig på en antagelse, som sedermera visade sig vara felaktig, nämligen att vår planet inte hade någon egen värme-källa utan svalnade med en konstant hastighet. Men det finns, som vi kommer att se nedan, en "gömd" värmekälla i jordens inre vilken Kelvin inte visste om och därför inte hade tagit med i sina beräkningar.

Det stora genombrottet för att beräkna jordens ålder kom när Henri Becquerel och makarna Marie och Pierre Curie vid slutet av 1800-talet upptäckte radioaktiviteten. Nu kunde man helt plötsligt mäta sönderfallshastigheten och halveringstiden för olika ämnen. Alla ämnen är uppbyggda av atomer vilka i sin tur byggs upp av neutroner, protoner och elektroner. Beroende på antalet neutroner i en atom så säger man att olika versioner av atomen utgör olika isotoper. När en instabil isotop bryter samman så avges energi och under denna process kan den omvandlas till ett helt annat element.

Alla radioaktiva isotoper har en viss halveringstid, från miljarder år till sekunder, vilket är den tid det tar för hälften av en given mängd av ett radioaktivt ämne att sönderfalla. Man kan betrakta det hela som ett timglas i vilket den sand som runnit ner i den nedre timglasbägaren representerar dotterisotopen medan den sand som finns kvar i den övre timglashalvan representerar moderisotopen. Vid varje given tidpunkt kan man således mäta förhållandet mellan moder- och dotterisotop och på så sätt få fram hur lång tid som förflutit. Kolisotopen kol 14 har till exempel en halveringstid om 5 700 år vilket gör att den med god precision kan användas för att beräkna åldern för något som maximalt är runt 40 000 år gammalt.

Detta är således inte till mycket hjälp när man vill veta åldern på något som är flera hundra miljoner år gammalt (men mycket användbart för exakta dateringar av yngre föremål). En utmärkt isotop för detta ändamål är istället uran 238 som har en halveringstid om 4,47 miljarder år. Denna isotop sönderfaller till ett antal instabila isotoper för att slutligen bilda den stabila isotopen bly 206. Kelvin trodde alltså att jorden var yngre än den är, då den inte hade svalnat av särskilt mycket sedan sin bildning. Han visste dock inte att radioaktivitet håller jorden varmare betydligt längre. För att vara säker på att inget uran eller bly tillkommit bergarten efter dess bildande, vilket skulle störa isotoprelationerna, använder sig geologer ofta av det

mycket beständiga mineralet zirkon. Detta mineral fungerar som en slags bur varifrån i princip inga uran- eller blyatomer kan fly eller tillkomma efter dess bildning. Detta innebär att uranet i den lilla zirkonkristallen långsamt sönderfaller till bly utan att störas av omgivningen och därför ger mycket exakta åldrar.

De äldsta bergarter vi känner till på jorden idag har hittats i Kanada och åldersbestämts till 4,04 miljarder år (med hjälp av mineralet zirkon). Detta är ju omkring 500 miljoner år yngre än jorden varför man frågar sig hur man kom fram till jordens ålder om vi inte ens har bergarter som är så gamla? Lösningen finns i andra himlakroppar. 1953 mätte geologen Claire Patterson uran-bly förhållandet i en meteorit som slagit ner i Arizona för 50 000 år sedan. Denna meteorit hade bildats vid vårt solsystems födelse och kretsat kring jorden tills dess att den slog ner. Mätningarna visade att meteoriten hade praktiskt taget inget uran eftersom de flesta atomerna omvandlats till bly. Både meteoriter och vår egen planet bildades ur samma ursprungsmaterial men fick slutligen olika proportioner av olika element, inklusive uran och bly. Genom att jämföra mängden uran- och blyisotoper i bergarter från jorden och meteoriter så kunde Patterson konstatera att jorden är 4,55 miljarder år.

Anledningen till att vi "bara" har bergarter som är cirka 500 miljoner år yngre än jorden själv är att jorden ständigt förstör och nybildar jordskorpa på grund av plattetektonik. I spridningsryggar (till exempel den mittatlantiska ryggen) pumpas magma upp från vulkanutbrott och nybildar bergarter, medan andra kanten av plattan sjunker ner i jordens inre och dess bergarter konsumeras och smälts åter upp. Att det överhuvud taget hittats bergarter av så hög ålder som 4,04 miljarder år är alltså snarare ett extremt undantag än en regel.

Vad skulle Kelvin, Darwin och Ussher ha sagt om den kunskap vi har idag om jordens och universums ålder? Säkert hade många av forna dagars giganter blivit glada och nöjda med det långa tidsperspektivet medan andra (i synnerhet de strängt religiösa) förmodligen hade fnyst åt det. Och vi ska komma ihåg att det än idag, i allra högsta grad, finns en kamp mellan religion och vetenskap. Det är bara att blicka över Atlanten till USA där kreationism och "intelligent design" är potenta religiösa krafter som aktivt försöker motarbeta vetenskapliga framsteg, men det är faktiskt en annan historia.

MATSE. ERIKSSON är docent och VR-finansierad forskarassistent vid Centrum för Geobiosfärvetenskap, avdelningen för berggrundsgeologi, Lunds universitet.

LÄSTIPS: Edelman Nils, 1994. *Filosofier, forskare och filurer ur geologins historia*. Eget förlag (distribution: Sveriges Geologiska Undersökning).

Zimmer Carl, 2001. *Evolution - the Triumph of an Idea*. Harper Collins Publishers.

FILMRECESSION:

Övertygande i biosalongen

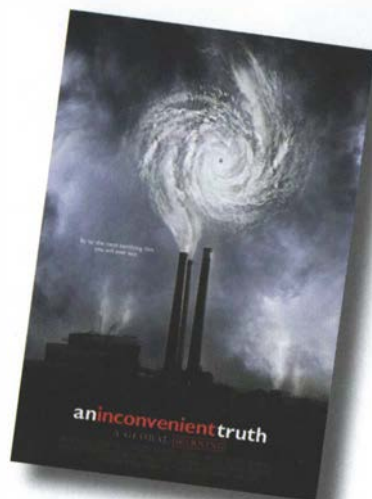
Mark Johnson har sett Al Gores film *En obekväm sanning* och är mycket positiv, trots att den har vissa små men vetenskapliga brister.

Det har inte gått att undvika Al Gore och hans film *En obekväm sanning* på senare tid. Klimathotet har diskuterats inte bara på grund av märkliga stormar och varma vintrar de senaste åren, utan också delvis på grund av Al Gores ständigt resande runt om i världen för att prata om klimatförändringar. Att hans resor blev film har varit ett försök att nå en större publik, och han har lyckats! I framtiden, när historien skrivs om just de här decennierna och om klimatet, kommer hans film att nämnas som en av anledningarna till att folkets opinion svängde i frågan om huruvida människans utsläpp av växthusgaser påverkar klimatet eller inte.

Filmen är en kombination av de power-point-presentationer som han har visat många gånger under senaste åren, plus personliga skildringar av hur han blev övertygad om att det faktiskt finns ett klimathot.

Det bästa med filmen är att han med vetenskapens och forskarnas hjälp berättar om bevisen för mänsklig påverkan på Jordens klimat. Istället för att vara allt för alarmistisk, diskuterar han den vetenskapliga utvecklingen av vår kunskap om växthusgasernas ökning i atmosfären. Han lyfter fram (och upp) vetenskapliga frågor på ett sätt som sällan, eller aldrig tidigare, skådats i en biosalong. Han visar stor respekt för vetenskapen och tar sig tiden att visa varför just vetenskapen är så viktig. Och han talar med vetenskapsmän (som ekvatoriska glacialgeologen Lonnie Thompson) och ber inte om ursäkt när han diskuterar avancerade frågor som syreisotoper eller andra data från isborrkärnor. Gång efter gång använder Al Gore olika power-point-grafer för att stödja sina argument. Som när han talar om havsisarnas tjocklek, eller när han visar på den kända CO₂-kurvan från Mauna Loa (Hawaii). Hans stil är väldigt pedagogisk.

Al Gore talar om glaciärer i filmen och som glacialgeolog anser jag att han delvis "missleder" sin publik, men inte till skada. När han exempelvis visar en bild av en kalvande glaciär, lämnas publiken med intrycket att någonting konstigt och tragiskt pågår. Men att tidvattenpåverkade glaciärer kalvar (det vill säga att isen smälter av genom att släppa ifrån sig stora isblock) är helt naturligt, det är dagens ökade hastighet på själva israndsreträttet som istället kan kopplas till den globala uppvärmningen. Han visar även flera bilder i



Al Gores film som började visas på svenska biografier förra året finns nu på DVD. I vår kommer Al Gores bok på samma tema ut i svensk översättning.

par, av isen då och nu i Alperna. Men många av hans bilder från förr, kommer från slutet av den så kallade "lilla istiden" i slutet av 1800-talet. Det är sant att isarna började dra sig tillbaka vid slutet av 1800-talet, men det är osannolikt att reträtten då orsakades av en global uppvärmning, även om nuvarande isars reträtter kan kopplas till detta fenomen.

Det finns fler felaktiga detaljer att beskriva. Ändå förläter jag honom för de misstag han gör. Och detta även om det är sannolikt att naturvetare i andra discipliner än min, kan hitta liknande små fel i hans presentationer. Ty inga av dessa "problem" kommer sänka hans argument i det stora hela. Det som istället genomsyrar hela filmen är Gores ödmjukhet och integritet. Han vill mer än att skrämma folk, han vill undervisa, väcka, få oss att agera! TV-filmen *Planeten* som visades i höstas på SVT var mer skrämmande i sin ton än *En obekväm sanning*. Jag misstänker att målet där var att chockera och underhålla snarare än att upplysa. TV-filmen väckte bara en hopplös känsla hos mig. Och kvällstidningar som har skrikit om klimathotet i sina rubriker de senaste månaderna, verkar göra detta mest för att sälja lösnummer. Al Gore känns äkta. Han anser att det finns ett klimathot orsakat av människan och han är tillräckligt berörd av implikationerna för framtiden för att av moraliska skäl göra något. Gore är mer optimistisk än många andra och filmen är till för att folk ska komma igång. Han avslutar filmen med en uppmaning till handling och han säger att han är övertygad om att vi kan göra det som behövs.

/ MARK JOHNSON är lektor i kvartärgeologi, Geovetarcentrum, Göteborgs universitet, och ledamot i Geologiska Föreningens styrelse.

KALENDARIUM

NOTERAT

21-23 mars Kartdagarna och GIT-mässa 2007. GPS, 3D-planering i GIS, stöd vid samhällskriser, EU-direktiv, utlandsuppdrag, släktforskning och Carl von Linné. När den svenska branschen för geografisk IT samlas på Elmia i mars spänner konferensprogrammet över ett brett område. Produkter, system och tjänster med anknytning till geografisk IT presenteras. Kartdagarna 2007 och GIT-mässan arrangeras av Kartografiska Sällskapet, MBK-leverantörernas Intresseförening och Utvecklingsrådet för Landskapsinformation tillsammans med Elmia. Plats: Elmia i Jönköping.

3-4 april Vatten i en varmare värld. Hydrologidagarna 2007, i Norrköping, hos SMHI. Mer information via www.hydrologi.org. Senaste anmälan 23 mars.

23-24 maj Bergforskningen, Luleå tekniska universitet. www.bergforsk.se.

27 maj-2 juni Internationellt fältsymposium. Kvartärgeologi, västra Litauen.

17-20 augusti I den klassiska miljön kring Siljan kommer det 20 års jubilerande WOGOGOB-mötet att gå av stapeln den 17-20 Augusti 2007. Detta symposium kommer att ha två exkursioner, en kortare förexkursion runt Siljansringen och en längre postexkursion till Jämtland. Själva symposiet är förlagt till Rättvik. Mötet genomförs i samband med IGCP projekt 503, Ordovician Palaeogeography and Palaeoclimate. Välkommen med din anmälan och abstract senast den 19 mars 2007, som enklast skickas via hemsidan: <http://www.palaeontology.geo.uu.se/Mainpages/WOGOGOB/Layout.htm>; E-mail: wogogob2007@pal.uu.se

I Nordenskjölds fotspår

Som bekant tillbringade Otto Nordenskjölds vetenskapliga expedition mer än två år bland sydpolens isar mellan 1901-1904. År 2003 hölls ett symposium till minnet av expeditionen och alla de svenska och argentiska vetenskapsmän och utforskare som antagit utmaningen att fälta beta i Patagonien och Antarktis, då – som nu.

Boken har sin utgångspunkt i flera av de föredrag som presenterades på symposiet. Kapitlen handlar bland annat om geologi, glaciologi, geopolitik, och de fortsatt framgångsrika svensk-argentinska naturvetenskapliga forskningsprojekt som bedrivits

sedan Nordenskjölds tid. Några av de medverkande författarna: Jan Lundqvist, Christian Hjort, Ólafur Ingólfsson, Kent Larsson, Per Holmlund, Stig Jonsson, Aant Elzinga, Torgny Nordin och Lisbeth Lewander.

Boktitel: Antarctic Peninsula and Tierra Del Fuego. 100 Years of Swedish-Argentine Scientific Cooperation at the End of the World.

Författare: Jorge Rabassa, Maria Laura Borla.

Förlag: Taylor & Francis.

Sidor: 214.

Pris: cirka 900 kr.

Köp: Via exempelvis www.Bokus.com

★ Olje- och energibolagen marknadsför sig som "gröna" i klimathotets tid. Det konstaterar Dagens Media i en artikel om Eons, Vattenfalls och Statoils planerade medieinvesteringar 2007. Nära 50 procent av olje- och energibolagens reklam 2007 kommer att handla om miljön, skriver tidningen.

★ 90 procent av det svenska vägnätet är byggt före 1980 och därmed dimensionerat enligt äldre metoder, teknik och kunskap. Därför intensifieras nu bland annat kartläggningen av sårbara vägar. Det redovisar Vägverket i en rapport till regeringen om vilka åtgärder som man avser att vidta eller planerar att vidta för att minska störningarna i trafiken på grund av erosion, skred och ras.

★ I norr kommer globala klimatförändringar att märkas tidigt. Därför satsar Kirunaregionen på att öka kunskaperna om ekosystemen och hållbar utveckling. Hösten 2007 startar Umeå universitet i samarbete med aktörer i näringslivet och kommunen, flera utbildningar i Kiruna – om bland annat klimatförändringarnas effekter, ekoturismens möjligheter och om den pågående stadsomvandlingen.

Annons

Geologi, gruvnäring och prospektering i Sverige idag

Årsmöte för Geologsektionen, Naturvetareförbundet hålls den **29 mars 2007**.

Plats: Högbomsalen i Geovetenskapens hus, Stockholms universitet.

kl 14.00 Mötet inleds med inbjudna föredragshållare som talar på temat

Geologi, gruvnäring och prospektering i Sverige idag:

• Christina Lundmark, SGU:s kontor i Malå

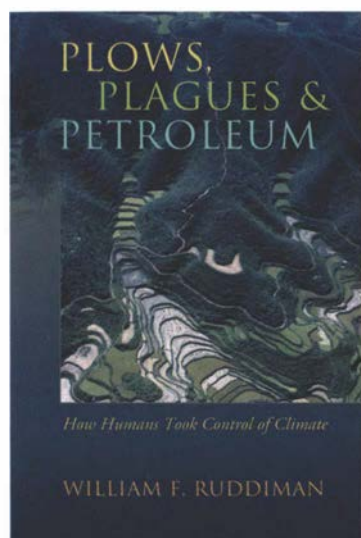
• Lennart Falk, VD för Svensk Prospekteringskonsult AB

kl 16.00 Årsmötesförhandlingar.

Varmt välkommen!

"Människan påverkade klimatet redan före industriella revolutionen"

Boken heter *Plows, Plagues, and Petroleum: How Humans Took Control of Climate* (eller *Plogar, farsoter och petroleum: Hur människorna tog kontrollen över klimatet*). Med denna bok fick William F. Ruddiman ta emot amerikanska *Phi Beta Kappa Award in Science 2006*. Priset delas ut varje år till en forskare som på ett enastående sätt bidragit till vetenskapslitteraturen. Läs Barbara Wohlfarths recension.



Plows, Plagues, and Petroleum: How Humans Took Control of Climate. Av William F. Ruddiman. University Presses of California, Columbia and Princeton, USA, 2005. 272 sidor. Cirkapris 200 kr. Kan beställas via exempelvis www.bokus.com.

William F. Ruddiman är marin-geolog och professor emeritus vid University of Virginia dit han flyttade efter många år som forskare vid det anrika Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University. Han har också skrivit boken *Earth's Climate: Past & Future*, och publicerat många vetenskapliga artiklar i tidskrifter som exempelvis *Scientific American*, *Nature* och *Science*.

William F. Ruddiman låter läsaren uppleva en fascinerande resa genom Jordens klimathistoria. Han börjar med att förklara hur Jordens klimat varierade när naturen hade kontrollen. Sedan leder han över till tidsintervallet när människorna började bedriva jordbruk. Han framför hypotesen att redan de tidiga bönderna för flera tusen år sedan påverkade klimatet, genom utsläpp av koldioxid, CO₂ och metan, CH₄. Sist skriver han om

människornas påverkan på klimatet – efter den industriella revolutionen. Ruddimans hypotes om människans klimatpåverkan redan före den industriella revolutionen, är delvis kontroversiell, men tankeväckande. Den vedertagna åsikten hittills är att människans påverkan på miljö och klimat började först i och med just den industriella revolutionen (för 150-200 år sedan). Då inleddes den snabba och dramatiska ökningen av växthusgaserna koldioxid och metan i atmosfären som vi nu kan observera. Vilka argument har Ruddiman mot detta?

För att förstå hans tankegångar måste vi se bakåt i tiden. Under de senaste två-tre miljoner åren har klimatet svängt mellan långa istider och korta värmeperioder. Orsaken till dessa svängningar anses vara att solinstrålningen ökar/minskar be-

roende på Jordens läge i förhållande till solen. Den ökande solinstrålningen i slutet av en istid, ökade temperaturerna på Jorden, som i sin tur ledde till en avsmältning av glaciärer och inlandsisar, samtidigt som en mer värmekrävande vegetation breddade ut sig – men bara på norra och södra halvklotet, inte längs ekvatorn förstås – och i takt med detta ökade halterna av växthusgaser som CO₂ och CH₄ i atmosfären. Men redan under den första fasen av varje sådan här värmetid började solinstrålningen minska igen, klimatet blev gradvis kallare, Jorden var långsamt på väg mot en ny istid, och växthusgaserna minskade i takt med de gradvis sjunkande temperaturerna. Långa isbörskärnor från Antarktis är de bästa arkiven för att illustrera dessa tydliga och cykliska förändringar.

När Ruddiman studerade olika dataset från tidigare istider och mellanistider kom han till slutsatsen att utvecklingen under vår nuvarande värmetid verkar ha varit annorlunda än under tidigare värmetider (till exempel den för 120 000 år sedan). För det första visar kurvorna att CO₂-halten började öka för 8000 år sedan och CH₄-halten för 5000 år sedan, istället för att gradvis minska fram till den industriella revolutionen. För det andra visar arkeologiska, geologiska och paleoekologiska källor att människorna började bedriva jordbruk

Geovetenskapen viktig i klimatfrågan

En av vår tids största frågor är klimatförändringar och deras orsaker och verkan. Tyvärr har geovetenskapen inte tillräckligt inflytande på forskning och offentlig debatt i ämnet, trots att väldigt många av de centrala frågeställningarna angående klimatförändringar måste ha geovetenskapen som utgångspunkt. *Klimatets förändringar är ju på intet sätt nya för geovetenskapen som faktiskt är den vetenskap som bäst kan belysa de ständiga klimatförändringar som vår jord varit utsatt för. Vi vet att klimatet inte är statiskt, oberoende om vi adderar mänskliga aktiviteter eller inte.*

Geovetenskapen är också den vetenskap som kanske är mest van att tackla frågor kring de hastigheter och tidsskalor som måste till för en verkligt seriös klimatdebatt. Vi kan konstatera att klimatförändringarna inte bör mätas i år, århundraden eller kanske inte ens i årtusenden. Istället handlar det om att vi måste förstå naturliga klimatvariationer i tidsskalor som rentav måste mätas i miljoner år.

Precis som att det inte råder någon tvekan om att det globala klimatet har varit både väsentligt kallare och väsentligt varmare än idag, råder det heller ingen tvekan om att atmosfären i den geologiska

historien innehållit mycket högre halter av växthusgaser än den gör idag (se exempelvis min artikel om Snöbollsjorden på sid 26-29). Det är alltså hastigheterna i de pågående klimatförändringarna som gör att väldigt många forskare är överens om att människan påverkar klimatet. Det går naturligtvis också att med rätt god säkerhet konstatera hur mycket växthusgaser mänsklig aktivitet tillför atmosfären varje år, *det är däremot svårare att exakt säga hur växthusgaserna påverkar klimatet!*

Den geovetenskapliga forskningen som bedrivs kan förhoppningsvis bidra till svaren om hur mycket av klimatförändringarna som kan tillmätas människan. Men gagnar den för närvarande något hysteriska debatten och de domedagsprofetior som målas upp i kvällspress och till och med i den statliga televisionen en seriös forskning kring antropogen påverkan av klimatet?

Som geovetare måste vi samlat stå upp för att betona betydelsen av geoperspektivet, det vill säga långa tidsskalor, i klimatdebatten. Så tag för er i debatten geovetare, inte bara den vetenskapliga utan även den massmediala!

Som avslutning vill jag uppmana alla att verkligen visa engagemang för vår nationella

geologiska förening. GF är i år 136 år gammal, vi har över 600 medlemmar och ger ut både en vetenskaplig tidskrift och en populärvetenskaplig tidskrift. Tillsammans kan vi förbättra kvaliteten i forskning, vara en självklar remissinstans även i den offentliga debatten för den för samhället allt viktigare geovetenskapen. De stora frågorna för vår generation, såsom klimatförändringen, uthållig samhällsutveckling, råvaruförsörjning, vattenkvalitet, miljöförstörelse, befolkningskoncentration är alla frågor som inte kan besvaras utan det geovetenskapliga perspektivet. För att möta samhällets behov av geokompetens behövs en stark geologisk förening!

/ PÄR WEIHED, ordförande för Geologiska föreningen 2007-2008, professor i malmgeologi och prefekt vid institutionen för tillämpad kemi och geovetenskap vid Luleå tekniska universitet.



redan för mer än 10 000 år sedan. Det intressanta är att ökningen av CO₂ och CH₄ som syns tydligt i data från iskärnorna sammanfaller i tid med att människorna började intensifiera skogsrojning för 8 000 år sedan och odla ris för 5 000 år sedan. Ruddiman kopplade ihop dessa händelser och föreslog att den ökade koncentrationen av växthusgaser i atmosfären värmden Jorden – flera tusen år innan den industriella revolutionen. Utan våra anfäder som röjde och planterade, hade vi alltså kanske stått inför en ny istid, just nu? Uppskattningsvis har utsläppen av växthusgaser från jordbruk under de senaste årtusendena lett till en global temperatur uppvärmning om 0,8°C, eller cirka 2°C på höga breddgrader.

Detta har varit tillräckligt varmt för att förhindra initialstadiet av en glaciation i nordöstra Kanada.

En annan mycket spännande aspekt som Ruddiman framför är att pandemier och krig påverkade halten av växthusgaserna. Han stödjer sig på mätningar som visar att CO₂-halten oscillerat med 5-10 ppm under de senaste 2000 åren och menar att pandemier i västra Europa och på den Amerikanska kontinenten lett till minskade populationer, övergivna bondgårdar och skogsåterväxt, som i sin tur minskat växthusutsläppen. Han argumenterar för att en pandemiorsakad minskning av CO₂ var en av orsakerna till den kalla Lilla Istiden (1300-1900 AD). Boken

är både välskriven och populär. (Förhoppningsvis finns den snart i svensk översättning.) Det viktiga i hans budskap är att det inte finns någon naturlig baslinje för klimatet under de senaste årtusendena, med vilken den senaste klimatutvecklingen kan jämföras. Människans påverkan på Jorden och dess klimat har pågått ganska länge. Boken fyller ett gap mellan natur- och humanvetenskap och visar hur viktigt samspelet mellan dessa är för att vi bättre ska kunna förstå klimatförändringar, deras påverkan på människan och människans påverkan på klimatet.

/ BARBARA WOHLFARTH, professor i kvartärgeologi, Stockholms universitet.

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 maj. Nästa nummer av tidningen kommer ut i juni 2007.

ÅRSMÖTE 2007 + EXKURSION

Välkommen till Geologiska Föreningens årsmöte fredagen den 1 juni 2007. Vi inleder med ett miniseminarium på temat Klimat och maringeologi kl. 9. Årsmötet äger rum kl. 13 då även Geologiska Föreningens Torellpris resp. Medaljfondsstipendium kommer att delas ut. Plats: De Geersalen, Geovetenskapens hus, Frescati, Stockholms universitet. Årsmötet följs av en exkursion. Vi reser till Siljansringen, Dalarna. Avresa den 1 juni efter förhandlingarna. Vi är åter i Stockholm 2 juni, på kvällen. Mer information i utskick – och framåt vårkanten även på vår nya hemsida. Föranmälan krävs.

NU BYTER VI HEMSIDA

Bättre uppdaterad och med nyheter från geovetenskapens värld. Geologiska Föreningens hemsida byter skepnad och nylanseringen sker den 2 april. I samband med detta blir den nya officiella adressen en .se-adress istället för som tidigare .nu. Välkommen att surfa in till oss på www.geologiskaforeningen.se

Bli stödprenumerant

Från och med i år erbjuder Geologiska Föreningen företag och organisationer en möjlighet att vara med och stötta utgivningen av Geologiskt forum. Som stödprenumerant får man exponering i tidskriften varje nummer samt syns på föreningens hemsida, (den nya lanseras inom kort). I prenumerationen ingår fem 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

Stödprenumeranter

Härmed har vi nöjet att presentera Geologiskt forums första stödprenumeranter:



Världens ledande miljökonsult.
Webbplats: www.ursnordic.com/www.urscorp.com



Täktkonsulter verksamma inom täkt, mark, miljö, vatten.
Webbplats: www.geopro.se

Geologiska Föreningens styrelse 2007

- Pär Weihed**, ordförande, Luleå tekniska universitet, 971 87 Luleå, tel. 0920-491371; par.weihed@sb.luth.se
- Mikael Calner**, sekreterare, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, tel. 046-2227379; mikael.calner@geol.lu.se
- Åsa Frisk**, skattmästare, Institutionen för geovetenskaper, Villavägen 16, 752 36 Uppsala, tel. 018-4712740; asa.frisk@geo.uu.se
- Joakim Mansfeld**, redaktör, Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel. 08-6747727; gff@geo.su.se
- Patrik Nilsson**, ledamot, URS Nordic AB, Hannerbergsatan 33, 171 68 Solna, tel. 08-553 93 508, e-post: Patrik_Nilsson@URScorp.com
- Mark Johnson**, ledamot, Geovetarcentrum, Göteborgs universitet, Box 460, 405 30 Göteborg, tel. 031-77302808; markj@gvc.gu.se
- Linda Wickström**, ledamot, Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala, tel. 018-179313; linda.wickstrom@sgu.se