

GEOLOGISKT FORUM

NR 59 SEPT 2008
ÅRGÅNG 15

**Inlandsisens
hemligheter**

**Meteoritjakt
på Antarktis**

**Nya fältdata från
norra Grönland**

Temanummer i samarbete mellan
Geologiska Föreningen och Geologins Dag
till äran av Internationella Polaråret 2007–2008



INNEHÅLL nr 59 sept 2008



NYHETER OCH REDAKTIONELLT

Geologisk världskarta.	3
Geologi på djupet. <i>Anna Kim-Andersson.</i>	4-5
Många höjdpunkter.	6
Världskongressen i siffor.	6
Stödprenumeranter.	28
Kalendarium och noterat.	29
GFF tar hjälp av Taylor & Francis.	29
Isbjörnar en het fråga på Island. <i>Erik Sturkell och Gabrielle Stockmann.</i>	30
Sista ordet: 4 anledningar till mer geologi i skolan. <i>Martin Testorf.</i>	31
GeoNytt.	32

TEMA INTERANTIONELLA POLARÅRET 2007–2008

Internationella polaråret har ett brett perspektiv. <i>Anders Clarhäll.</i>	7
Resultat från Grönland. <i>Anna Kim-Andersson.</i>	8
Östsibiriska havet nästa. <i>Per Andersson.</i>	9
"Alla tycker att det är viktigt att serien med mätningar får fortsätta – men ingen vill betala." <i>Ulla Sundin-Beck.</i>	10-11
Hur mår glaciärerna på Spetsbergen? <i>Anders Schomacker.</i>	12-15
Inlandsisens hemligheter. <i>Jens-Ove Näslund, Berit Lundqvist.</i>	16-19
Meteoritjakten på Östantarktis. <i>Marie Keiding.</i>	20-23
Antarktis gröna skogar. <i>Kent Larsson.</i>	24-27

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

Populärvetenskaplig redaktör: Anna Kim-Andersson
tel 036-440 01 20, 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

Omslagsbild: Per Möller, se även sida 8.
Upplaga: 3 000 ex.
Tryckeri: Masala media.
Ordinarie lösnummerpris: 50 kr.

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

ISSN 1104-4721

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 helårsprenumeration
på Geologiskt forum utan medlemskap kostar 160 kronor/år.
Ange namn, adress och e-postadress, vid betalning
till vårt Plusgiro: 2108-9.

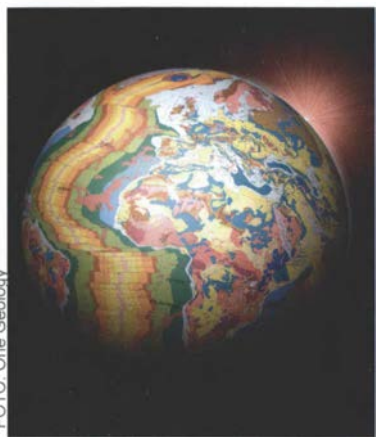
Tidningen har sedan starten 1994 publicerat populärvetenskapliga
artiklar inom geovetenskapens alla områden. Tidningen informerar
Dig om aktuella händelser, litteratur och personer med anknytning
till ämnet. Tidningen vill även vara ett forum för åsikter och debatt.
Mer information på www.geologiskaforeningen.se

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



Geologisk världskarta

Geologiska undersökningar från 79 länder deltar i det internationella jätteprojektet OneGeology som invigdes i augusti. Missionen är att skapa en digital dynamisk geologisk världskarta i skala 1:1 000 000.



Geologisk kunskap blir tillgänglig för alla via webben! OneGeology startade förra året och i augusti lanserades den portal genom vilken världens geologiska undersökningar kan vara med och mata in data i OneGeology's databas. Läs mer om det spännande projektet och se kartorna via www.onegeology.org

En tredimensionell geologisk karta över Jorden. OneGeology utnyttjar digital teknik maximalt. En film om projektet finns på Youtube: www.youtube.com/OneGeology

Geologins Dag

på Naturhistoriska riksmuseet
Lördag 13 september kl. 11.00-16.00



- Svensk polarforskning och det internationella polaråret.
- *Grottor – Jordens dolda världar.* Specialvisning på Cosmonova.
- Barnaktiviteter med polartema i Skaparverkstaden kl. 12-16.
- *2 miljarder år på 60 minuter.* Mini-exkursion i Frescati.
- Föredrag med fri entré om polarfararen Nordenskiöld
- Visning av museets utställningar: *Skatter från jordens inre* och *4 ½ miljarder år.*
- Museets egna geologer berättar om sin forskning.
- Två föredrag om källor i Sverige.
- "Dr. Sten" och "Dr. Ben" undersöker allmänhetens medhavda stenar och fossil.
- Guldvaskning med Svenska Guldvaskarföreningen.
- Tipsrunda om geologi.
- Många spännande utställare och överraskningar på plats.
Läs mer: www.nrm.se

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



Naturhistoriska
riksmuseet

Geologi för samhället

Den 33:e internationella geologkongressen, 33 IGC, gick av stapeln i Oslo i augusti. Den imponerande storkongressen hade "Geologi för samhället" som paroll. Samhällsperspektivet lyftes fram med hjälp av populärvetenskapliga temadagar, parallellt med ett digert vetenskapligt program. Föreläsare från akademi och samhälle bidrog till en intressant kunskapsmix och potentialen var stor men kanske hade programmet som stundtals var glimrande också sina svagheter. Dagarna var långa och föredragen ambitiösa! Enligt mig hände det mest spännande i slutet av varje dag. Högt uppsatta politiker och beslutsfattare fanns på plats för att ta del av kunskap, bidra med nya perspektiv, svara på frågor, debattera. Några debatter drog mycket publik, klimatdebatten till exempel. Några debatter var glest besökta. De som arrangerade temadagarna, och kongressen som helhet, hade kämpat för att locka med bra program. Men kände kanske inte att de nådde ända fram. Frågan är hur ska man nå ut? Få till stånd möten. Dialoger.

Att jobba med "outreach", det vill säga att nå ut till omvärlden med forskningsresultat är en utmaning. Men det behövs också en kommunikation åt andra hållet. Geologer måste vara en del av samhället. Ta del. Engagera sig. Personligen tror jag att det är enklast att nå fram när man har skapat relationer till dem man vill nå, när man lärt känna lite, byggt ömsesidiga förtroenden. Att gå på en debatt och träffa samhällets aktörer kan vara ett sätt. 33 IGC hade en god intention. Kanske kan konceptet utvecklas ytterligare till en annan gång! Det var hursomhelst underbart att vara en av 6 000 geologer i Oslo. Jag kommer att vara 87 år nästa gång kongressen kommer till Norden.



/ Anna Kim-Andersson,
populärvetenskaplig redaktör.

Geologi på djupet

Tätorten Gränna är belägen drygt tre mil norr om Jönköping utmed sjön Vätterns östra strand. Här finns ett färjeläge och sex kilometer västerut ligger ön Visingsö som är Vätterns största ö.

På en inhyrd båt från Sjöfartsverket återfanns ett team geologer i bygden – under en intensiv vecka i mitten av augusti. De genomförde undersökningar av sjöbotten mellan Gränna och Visingsö. Med hjälp av ett så kallat multibeam för grunda djup, kunde de mäta bottenreliefen på en halv decimeter när. Parallellt användes ett sedimentekolod – ett instrument som ger en profil av lagren under ytan, ner till fast berg.

Mellan Gränna och Visingsö går en djupränna som, där den är som djupast, är drygt 110 meter.

– Vi har hittills kunnat se att djuprännan är fylld av sediment som har upp till 50 meters mäktighet, säger Svante Björck från Centrum för Geobiosfärsvetenskap vid Lunds universitet när Geologiskt forum kommer på besök mitt under fältarbetet.

Undersökningen är ett pilotprojekt, finansierat via Bert Bolin Centre for Climate Research. Insamlingen av geofysiska data leds av Martin Jakobsson, Tom Flodén och Arne Lif från Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet. Martin Jakobsson har tidigare utfört multibeamundersökningar i Arktiska oceanen:

– Multibeam används numera ofta i kommersiella sammanhang, men i Sverige har instrumenten ännu inte använts för geologiska undersökningar av sjöbotten. Det gör vår studie unik och om pilotprojektet faller väl ut vill vi följa upp genom att vid ett senare tillfälle ta upp borrhärdor från intressanta partier. Precisionen i provtagningen, det vill säga att man tar prover på rätt plats, kan säkerställas eftersom vi får en tredimensionell bild av de geologiska enheterna med hjälp av multibeamet och sedimentekolodet tillsammans. Vi har sett förmodade strandvallar ner till 50 meters djup. Det vore spännande att även hitta glacialmorfologi.

I pilotprojektet medverkar också Barbara Wohlfarth från Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet:

– Vi vet en hel del om kvartärgeologin i vårt land, men de stora sjöarna är hittills outforskade områden, berättar hon. Det finns många teorier om hur isen rörde sig under senaste deglaciationen. Vätternsänkan har en skarp morfologi. Den dåvarande sjön Vättern, som var uppdämd 100-150 meter, kan ha spelat en mycket större roll för deglaciationens isdynamik än vi tidigare trott.



Forskarna i pilotprojektet tillbringade många långa timmar på Vätterns böljor. Undersökningen utfördes i överlappande linjer i ett fältarbetsområde beläget mellan Gränna och Vingsö. I fören på båten syns multibeam-instrumentet. Det gula sedimentekolodet, nedre bilden, förvaras ombord i hamn, men hissas ner i vattnet när fartyget befinner sig till sjöss. Vättern är Sveriges näst största sjö och den femte största i Europa. Medeldjupet är 40 meter. Hittills största uppmätta djupet i sjön är 128 meter i ett område söder om Vingsö. Stora bilden: Svante Björck, Barbara Wohlfarth och Martin Jakobsson.
Foto: Anna Kim-Andersson.

Världskongressen i siffor

Mer än 6 000 deltagare från 113 länder deltog i 33:e internationella geolog-kongressen i Oslo, 33 IGC, den 6-14 augusti. De flesta deltagarna kom från Norge (960), Ryssland (505), USA (394), China (376), Italien (267) och Tyskland (261).

Under kongressen hölls 4 300 föredrag och 2 200 posters fanns utställda. Dessutom hölls 20 workshops, 350 symposium och 96 affärsmöten. 664 personer deltog i någon av de många exkursioner som anordnades i anslutning till kongressen. I utställningshallen GeoExpo fanns 80 utställare. Av de som deltog hade 577 personer från 71 länder erhållit GeoHost-stipendium, finansierat av bland annat de nationella biståndsorganisationerna i Norge, Sverige och Finland samt motsvarande organisation inom EU. GeoHost-stipendiet täckte deltagaravgiften, samt i flera fall också boende under kongressen.

Kongressen hålls var fjärde år och i år var det Nordens tur, Norge var värdland, men alla de nordiska länderna bidrog i organisationsarbetet. Om fyra år går 34:e IGC av stapeln i Brisbane, Australien.



Foto: 33IGC.

Invigningen av 33 IGC var högtidlig och vacker. Invigningstalet hölls av Norges Kung Harald. Därefter talade 33 IGC:s president Arne Bjørlykke, ordförande för International Union of Geological Science Zhang Hongren, Nordiska ministerrådets generalsekreterare Halldór Ásgrímsson samt norske forsknings- och utbildningsministern Tora Aasland. Mer om konferensen, video (webbcast) från temadagarna och alla invigningstalen finns att ladda ner via www.33igc.org

Många höjdpunkter

Lyckat så in i Norden! 33:e internationella geologkongressen, 33 IGC, med Norden som arrangör och Norge som värd, blev en minnesvärd kongress i både stort och smått.

Två stora kartprojekt invigdes och lanserades på 33 IGC. Kanske lite i skymundan av OneGeology (läs mer på sidan 3), som fick stor uppmärksamhet redan första dagen då temat var just global geologi, hade de geologiska undersökningarna i Ryssland, Kina, Sydkorea, Mongoliet och Kazachstan lansering av den gemensamma "Atlas med geologiska kartor över Centralasien och angränsande områden". Kartorna som omfattade geologi, tektonik, energiresurser och metaller fanns att beskåda i den ryska respektive kinesiska montern i utställningshallen på kongressen.

Annat värt att notera från kongressen var exempelvis den färska rapport från Amerikas geologiska undersökning, USGS, som innehöll en reviderad uppskattning av potentiella oljeresurser i Arktis. Rapporten, som presenterades av geologen Donald Gautier, väckte stort intresse, inte minst i internationella media som bevakade händelsen. Och diskussionen kring gränsdragningen mellan länderna i Arktis skedde i samband med UNCLOS-symposiet (United Nations Convention on the Law of the Sea). Det hölls även föredrag som presenterade forskningsresultat som rörde den submarina

bergskedjan Lomonosovryggens utbredning. Internationella media skrev i samband med detta rubriker som "nya forskningsresultat stödjer Kanadas rätt till anspråk på Arktis".

Att den geologiska tidsskalan blev uppdaterad under 33 IGC går också till historien. Mer att läsa på www.stratigraphy.org.

Av flera priser som delades ut kan exempelvis nämnas Verdanskymedaljen som gick till norske professor emeritus Bjørn Bølviken. Verdanskymedaljen är den mest prestigefyllda utmärkelsen från internationella geokemiorganisationen IAGC.

Under kongressen genomfördes också en namntävling. Vid entrén till mässan blåstes en 15 meter lång monsterödlas upp varje morgon. Rentav var det Kung Harald som blåste upp den första gången, på invigningsdagen. Ödlan, som är en avbild av en fossil ödla som forskaren Jørn Hurum grävt fram på Svalbard, fick slutligen sitt namn. Det var 3-åriga Sam Kjølø från Oslo som sänt in det vinnande bidraget: Dinodille på norska eller Dinodile, om det ska klinga mer internationellt. Sam Kjølø vann 5 000 NOK som tack för hjälpen.

Flera kortkurser gick av stapeln under 33 IGC. Kursen i medicinsk geologi samlade ett trettiotal deltagare från alla kontinenter. Föredragshållarna var, nedre raden, från andra personen från vänster: Olov Selinus, Sverige, Robert B Finkelman, USA, och Jose Centano, USA. Foto: 33IGC.





Polarmiljöer är viktiga miljöarkiv eftersom nedbrytnings- och omskapande processer går långsamt, eller mycket långsamt. I inlandsisen finns mångtusenårig luft bevarad. I Antarktis Dry Valleys kan en förolyckad säl torka och bli liggande i flera hundra år.
Foto: Anders Clarhäll.

Internationella polaråret har ett brett perspektiv

FN:s meteorologiska organisation, WMO, och Vetenskapsakademiernas internationella samarbetsorgan, ICSU, har deklarerat åren 2007–2008 till Internationella polaråret. Syftet är att göra en satsning på polarforskning och internationell samordning av både forskningens genomförande och policyfrågor. Dessutom ska satsningen belysa sambandet mellan polarfrågor och globala utvecklingsfrågor samt att ge polarområdena den uppmärksamhet de förtjänar. I Sverige koordineras satsningarna under polaråret från Vetenskapsrådet och den av Vetenskapsrådet tillsatta Svenska kommittén för internationella polaråret.

Det har gått 50 år sedan det förra polaråret och frågan om vår planets framtid har aldrig varit så avgörande som nu. Globala klimatförändringar är ofta tidigt och tydligt avläsbara i polarregionerna. Det är också i polarområdena som effekterna av klimatförändringar kan vara som mest kännbara. Detta, tillsammans med ökade möjligheter till naturresursutnyttjande i Arktis har gjort att, bara under de senaste åren, har polarforskning än mer blivit en storpolitisk angelägenhet. Svensk polarforskning har länge dominerats av geovetenskap, men i och med de geopolitiska intressena för polarområden visar sig också ett tydligt kunskapsbehov inom samhällsvetenskaperna. Polaråret 2007–2008 har som ett av sina mål att särskilt stödja och lyfta fram polarforskning inom samhällsvetenskap och humaniora.

Den svenska kommittén för internationella polaråret har tillsammans med en grupp internationella organisationer initierat en process att utveckla och säkerställa långsiktiga observationssystem i Arktis. Processen kallas SAON-proces-

sen (Sustaining Arctic Observing Networks) och syftar till att lägga fram rekommendationer till Arktiska rådet om hur kontinuerlig observation och samordning långsiktigt ska lösas. Observationer i form av forskning och övervakning är fragmentariska både i tid och i rum. Dessutom är data ofta inte tillgängligt för andra än den organisation eller forskargrupp som samlat in det. Behovet att öka samordning och tillgängliggörande av data är därför stort. Vägen dit är dock en långsiktig och diplomatisk process.

Ett beslut i Arktiska rådet kommer sannolikt att få återverkningar på de enskilda staternas planering och finansiering av infrastruktur med mera för forskning och övervakning. Det handlar om att stärka och utvidga systemen inom traditionella övervakningsområden, som meteorologi och oceanografi, men också att vidga regional övervakning och statistik till områden som delvis varit svagt utvecklade, som samhälle, hälsa och kultur. För svensk del kan det handla om att förändra och utvidga uppdraget till vissa myndigheter. Inte minst kan det komma att handla om fördjupning av det internationella samarbetet och en fortsatt integration av observationssystemen inom ramen för internationella åtaganden och nätverk. Mer information om SAON-processen finns på webbsidan www.arcticobserving.org.

/ Anders Clarhäll arbetar vid Vetenskapsrådet och är Verkställande sekreterare, Svenska kommittén för internationella polaråret.





Resultat från Grönland

Arktiska bassängen var isfri, i alla fall finns det indikationer på detta i de geologiska lagerföljderna för mellan 6 000 och 9 000 år sedan. Resultaten är nya och kommer från det nordiska så kallade LongTerm-projektet – som genomförde två internationella arktiska expeditioner under fältsäsongerna 2006 och 2007.

70 mil från Nordpolen. Per Möller, professor i kvartärgeologi vid Centrum för Geobiosfärvetenskap, Lunds universitet, var en av deltagarna i LongTerm-projektet, ett internationellt projekt med finansiering från flera nationer, men framförallt från Danmark. Expeditionerna gick till den nordligaste delen av Grönland, ett område som nästan inte undersökts kvartärgeologiskt förut. LongTerm-projektet omfattade ett tiotal forskare under respektive säsong. Allt tyder på att det inte är den grönländska inlandsisen som täckt området under det senaste glaciationsmaximat, men det finns spår av glaciationer och det som forskarna ville veta var vad det var för isar som gjorde dessa avtryck.

– Vi studerade den glacialgeologiska utvecklingen i området under och efter den senaste istiden och interaktionen mot icke nedisade delar av landskapet och den arktiska bassängen. Stratigrafiska undersökningar och ett stort dateringsprogram med olika dateringsmetoder ingick i konceptet. Parallellt fanns det också arkeologer och mikrobiologer med på expeditionen som arbetade med andra problemställningar, till exempel att leta efter DNA-spår efter den så kallade paleoeskimåbefolkningen som periodvis funnits i området tidigare, säger Per Möller som är nöjd över resultaten som nu börjar komma fram och som kretsar kring kopplingen mellan nedisningar och den arktiska bassängens utveckling.

Fanns det havsis eller inte under vissa perioder och hur påverkar i så fall detta nedisningsförloppet?

– Ligger det havsis och trycker

mot kusten hela året så som det gör idag, bildas exempelvis inga strandlinjer, förklarar han.

– Men om bassängen å andra sidan är öppen kan det bildas strandvallar. Och vi hittar strandvallar inom ett viss höj dintervall, strandvallar som idag ligger på en högre nivå än de bildades på grund av landhöjningen efter senaste nedisningen och det är viktigt för oss att datera denna period med strandvallsbildning och öppet hav.

– Under förra året försvann hela 40 procent av arktiska bassängens is och prognosen är att vi inom några få decennier, kanske rentav ännu snabbare, har en öppen arktisk bassäng igen på sommaren. Den miljöutveckling för området som vi ser i samband med den senaste deglaciationen kan därför möjligen vara en analog till vad som kanske snart kommer att ske på Grönlands nordkust! Och våra "paleo"-resultat indikerar att befintliga iskappor reagerade på den öppna havssituationen genom att sända fram istungor, så kallade utflödesglaciärer, i dalsystemen långt utanför var dessa glaciärtungor ligger idag. Det paradoxala är således att en uppvärmning kan leda till större glaciärer, inte mindre, i detta område på grund av ökande nederbörd.

– Det är helt klar att klimatsystemet är mycket komplext, och det finns en mängd återkopplingsmekanismer som vi ännu inte fullt ut förstår. En fundamental frågeställning är hur en isfri arktisk bassäng påverkar den globala cirkulationen, säger Per Möller.

/ Anna Kim-Andersson

Fotografierna är Per Möllers egna, från LongTerm-expeditionen 2007. Läs mer om projektet, resan och deltagarna i Per Möllers blogg från 2007:

www.geol.lu.se/personal/prm/Blogg_Longterm_2007.htm

Östsibiriska havet nästa!

I augusti styrde forskningsfartyget Jacob Smirnitskyi från norska Kirkenes mot Arktis. Den internationella Arktisexpeditionen går längs den Sibiriska kusten till Östsibiriska havet för att utforska Arktiska oceanen.



Per Andersson och Leif Anderson deltar i årets expedition till sibiriska Arktis.

Den 12 augusti 2008 lämnade en internationell forskningsexpedition med ett trettiotal deltagare från Ryssland, Sverige, USA och andra länder Kirkenes i Nordnorge för att färdas längs den sibiriska kusten till Östsibiriska havet. Grundhavet norr om Sibiren och framförallt det Östsibiriska havet är till stora delar outforskat trots att det är ett av världens största grundhav. Syftet är att undersöka de enorma flöden av kol, näringsämnen, spårelement och vatten som passerar genom detta system under sin väg från den sibiriska tundran till det inre av Arktiska oceanen. Efter dryga 40 expeditionsdagar återvänder fartyget till Kirkenes.

Expeditionen baseras på det ryska forskningsfartyget Jacob Smirnitskyi, byggt för undersökningar av arktiska kustvatten och anpassat inför expeditionen med ny utrustning. Tekniken inkluderar avancerade provtagare för sediment, vatten, luft och is samt modern utrustning för att snabbt och säkert mäta variationer i salthalt och temperatur. Flödet av viktiga växthusgaser som koldioxid och metan mäts kontinuerligt med känsliga sensorer. I de fartygsbaserade laboratorierna används avancerade filtreringsmetoder för separation av olika substanser och partiklar i både vatten och sediment.

Projektet är en del av Internationella polaråret (IPY-562) ett koordinerat internationellt vetenskapligt program, som pågår under 2007–2009, för ökad förståelse av polarområdena. Expeditionen bekostas av svenska, ryska, nordiska och amerikanska finansörer, där särskilt Knut och Alice Wallenbergs Stiftelse bidragit.

Haven är en av de viktigaste delarna i regleringen av jordens klimatsystem och fungerar både som en stor termostad som omfördelar värme från låga till

höga latituder och påverkar också koldioxidbalansen i atmosfären genom bland annat planktonproduktionen i ytvattnet. Under den senaste tjuoårsperioden har forskningen visat att planktonproduktionen i haven regleras förutom av tillgången till de vanliga näringsämnena som fosfor, kisel och växttillgängligt kväve också av tillgången till mikronäringsämnen som till exempel Fe, Cu, Zn och Cd. Flera av dessa spårmetaller visar låga halter i ytvattnet vilket tyder på att de tas upp i plankton och kan på så sätt bli en begränsande faktor för tillväxten.

Betydelsen av polarområdena för klimatet, den kemiska sammansättningen av haven och som mottagare av långväga transporterade föroreningar, har under de senaste åren alltmer kommit i blickfånget. Det står också klart att kunskaperna om dessa svår-tillgängliga trakter är långt ifrån fullständiga och det saknas ofta data för att avgöra hur ett varmare klimat påverkar transporten av både organiskt och oorganiskt material från de nordliga kontinentområdena till världshaven.

I en värld av ökad förbränning av fossila bränslen förutspår klimatmodeller att de största framtida temperaturhöjningarna kommer att ske i sibiriska Arktis. Effekten av dessa temperaturhöjningar är en minskning av havsistäckets under sommaren, en upptining och minskad utbredning av permafrosten på land och en ökad erosion längs kusten. Allt detta kopplar åter till klimatsystemet genom förändringar i kol och materialflödena från land till hav och atmosfär. Det som tillförs haven från land med floderna utsätts för biogeo-kemiska omvandlingar i kusthaven, sedimentation, och flöde ut i de Arktiska centrala djupbassängerna.

Den övergripande frågeställningen är hur situationen är idag och med hjälp av naturligt förekommande radioaktiva isotoper och spårelement ta reda på om den Sibiriska kontinentalsockeln fungerar som en sänka eller källa för vidaretransport av spårelement till öppna Arktiska Oceanen och därifrån vidare ut i världshaven. Det är avgörande att vi känner till dagens situation för att förstå hur framtida klimatförändringar påverkar den viktiga spårelementtransporten mellan kontinent och hav. En rapport från expeditionen kommer senare att publiceras i Geologiskt forum.

Följ expeditionen via Per Anderssons blogg:
www.nrm.se/polarexpedition2008

/ Per Andersson är chef för Laboratoriet för isotopgeologi och forskare vid Naturhistoriska riksmuseet.



"Alla tycker att det är viktigt att serien med mätningar får fortsätta – men ingen vill betala."

Runt 50 000 forskare och tekniker från mer än sjuttio länder undersöker polarområdenas globala betydelse för klimat och miljö under Internationella Polaråret 2007-2008. Det ovanligt långa året behövs för att räcka till för alla årstiders expeditioner på båda halvkloten. I Sverige pågår arbete till polarårets ära under namnet Arktiska Sverige.

TEXT Ulla Sundin Beck

Gunhild "Ninis" Rosqvist, universitetslektor vid Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet, leder Tema 1 inom ramen för Arktiska Sverige (se faktarutan nedan) från Tarfala forskningsstation vid Kebnekaise. Hon forskar på halvtid och är stationsföreståndare på halvtid med ansvar för bland annat budget, personal

Mer om Arktiska Sverige

Ett fyrtiotal forskare samlades i de svenska fjällen i sommar under namnet Arktiska Sverige. Polarforskningssekreteriatet och Svenska kommittén för Internationella polaråret finansierar fyra tvärvetenskapliga teman som bland annat handlar om klimatförändringar:

- Tema IV - Förändringar över tid i förekomst av djur, människans utnyttjande av naturresurser och geologiska processer studeras genom moderna geokemiska metoder.
- Tema III - Klimatförändringarnas effekt på de känsliga ekosystemen i fjällkedjan.
- Tema II - Relationer mellan växter och djur i fjällmiljö samt kopplingen till människans historiska användning av markerna.
- Tema I - Klimatets påverkan på glaciärers utveckling.

och utåtriktade verksamheter.

– Just nu är det mode med klimatkussioner, och det är förstås bra, säger hon. Folk vill lära sig! Det finns ett sug efter kunskap och det måste vi förvalta väl. Miljöministern är inbjuden till Tarfala. Under sensommaren kom en grupp gymnasielärare till stationen för vidareutbildning. Stockholms universitet har deltagare från både en sommarkurs och en kvällskurs som gör studiebesök här. Och fyra gymnasieelever från sommarens forskarskola får möjlighet att göra sina projektarbeten vid stationen. Kunskapen om att Sverige är en del av Arktis är spännande!

Storglaciären vid Tarfala har mätts sedan 1940-talet. Den obrutna mätserien är den längsta i världen av någon glaciär. Övervakningsprogrammet vid stationen omfattar bland annat glaciärers massbalans och utbredning, registrering av permafrost samt hydrologiska och meteorologiska mätningar. Förändringen av glaciärerna kopplas till klimatet. Historiska kunskaper om glaciärerna ger därför ökad förståelse och bättre underlag för klimatprognoser.

Storglaciären, en av fyra i dalen, är 3,2 kilometer lång. Glaciärens övre del når 1 730 meter över havet, och fronten i dalgången finns på 1 120 meters höjd. Med vintersnön ökar glaciärvolymen medan sommarsolen smälter framför allt den nedre delen. Under 1980- och 1990-talen byggdes glaciärerna på under några år, men nu smälter de av.

– Alla tycker att det är viktigt att serien med mätningar från Storglaciären får fortsätta – men ingen vill betala... Just nu är det Stockholms universitet som står för fiolerna. För Sveriges vattendrag och skogar ansvarar olika myndigheter, men det finns ingen myndighet för det frusna vattnet, påpekar Ninis Rosqvist.

– Tarfalastationen är inte så dyr i sammanhanget. Vi kan ganska enkelt visa vad vi gör, medan andra glaciärområden är svårare att nå. Det går ju inte att låta alla resa till de mer avlägsna polarområdena. Hit är det ändå hyfsat lätt att ta sig, anser hon.

Tarfala ligger ett par mil från närmaste bilväg, det finns helikopterplatta och man kan vandra sju kilometer från Kebnekaise fjällstation. Under vårvintern gäller skoter.

Kunskapen om de stora nedisningarna, istiderna, och deras direkta påverkan på miljön är faktiskt bara några hundra år. Kunskapen om sambandet mellan klimat och glaciärer är ännu yngre, och orsakerna till de naturliga klimatvariationer som finns



Tarfala forskningsstation ligger 27 kilometer från närmaste bilväg, 1 130 meter över havet i Kebnekaise fjällen och granne med Strogliaciären, en av världens mest mätta. Gunhild Ninis Rosqvist (till höger) är klimatforskare och föreståndare för Tarfala forskningsstation.

under både istider och varmare mellanperioder är inte totalt klarlagda. Det finns alltså många forskningsuppgifter att ta sig an. Ett problem är att glaciärernas mätserier är för korta för att tillåta slutsatser.

– Vi har foton och kartor och en ovanligt lång serie över tid i Sverige, men det finns ingen ”snygg” och tydlig sammanställning som gör materialet enkelt att använda. Under 1960-talet mätte man med hjälp av fixpunkter avstånd och utbredning för glaciärerna. Mätdata har sparats men inte analyserats. Vi sammanställer material till en databas, etablerar nya fixpunkter och ska mäta in de gamla, för att med GPS kunna fortsätta mäta än mer exakt och dessutom på ett enkelt sätt, säger Ninis.

För att veta hur glaciärerna har varierat över tid och få en bild av klimatet utnyttjas olika metoder. För exempelvis Alpglaciärer kan man använda sig av målningar och litterära verk. Fotografier finns sedan slutet av 1800-talet, ändmoräner och lavar ger också upplysningar. Från de stora inlandsisarna på Grönland och Antarktis tas borrhövar som är kilometerlånga och kan analyseras för att visa klimatvariationer. Under vårvintern kan man från skoter med hjälp av radar mäta isdjupet för att verkligen få ett mått på vilka volymer av is som finns. Mätdata ger i sin tur förbättrade prognoser.

Det är mycket snö kvar ännu i Tarfala när Geologiskt forum ringer för en intervju. Snön börjar vanligtvis smälta i maj, men i år kom det snö under våren som byggde på glaciären.

– Det är bra att vara här, säger Ninis Rosqvist på en blöt telefonledning från Tarfala där både smältvatten och regnvatten rinner in i telefonkabeln och klipper av samtalet. Man koncentrerar sig på ett annat sätt i fjällvärldens isolering. Det kan vara slitigt, men det är

också ett privilegium att få komma hit, berättar hon.

Det är inte totalisolerat från omvärlden. Strax tar stationen emot gäster från Alperna, Finland och Australien. Tillsammans undersöker man klimatutvecklingen under de senaste tusen åren. Olika metoder som trädens årsringar eller sjösediment ger högre noggrannhet, tidsupplösning, jämfört med äldre metoder. Då studerade man de avtryck som glaciärerna lämnar i fjällmiljön som moränryggar.

Avsmältningstakten av glaciärerna har ökat framför allt under de senaste tio åren, men det finns mycket is kvar. Det är frågan om en balans mellan vintersnö och avsmältning under sommaren, och den balansen ser olika ut mellan åren. Nyheten är att avsmältningen går snabbare.

Glaciärsmältningen ger konsekvenser för mätningen av Sveriges högsta topp. Mätningen av Kebnekaise sköts av Tarfalastationens personal med GPS i augusti. Sydtoppens höjd varierar, och det beror på att den består av en cirka 35 meter tjock glaciär.

Hur glaciärerna fortsätter att påverka vår värld och framför allt hur vi inverkar på glaciärerna är alltså en av flera frågor för Internationella Polaråret, som fokuserar på flera frågor, från minoritetsbefolkningars situation och ekonomisk utveckling i nordliga områden till kultur, miljö och vetenskap. Klimat- och miljöforskningen betonar polarområdenas globala betydelse. Men spännvidden är stor under Internationella Polaråret 2007–2008, som betecknas som den största internationella forskningsinsatsen någonsin.

Läs mer om Internationella Polaråret på www.ipy.se

Ulla Sundin Beck är frilansjournalist.

Hur mår glaciärerna

Under internationella polaråret, IPY, har forskarna bland annat fokuserat på hur glaciärerna i Arktis snabbt minskar i yta och volym, hur klimatet påverkar glaciärerna samt vilka sediment och landformer glaciärerna avsätter under sin reträtt. Ungefär 60 procent av ögruppen Spetsbergen, 70 mil norr om Norge, är täckt av glaciärer och utgör ett spännande studieområde för glacialgeologer. Denna artikel kommer att belysa hur glaciärerna förändras – med speciell fokus på glaciären *Holmströmbreen* på centrala Spetsbergen.

TEXT Anders Schomacker

Det finns ett antal olika typer av glaciärer på Spetsbergen: stora platåisar, kalvande tidvat-tensglaciärer, dalgglaciärer och små nichglaciärer. Efter Lilla istidens glaciärmaximum i början av förra seklet har flertalet av glaciärerna haft en negativ massbalans och minskat i utsträckning och tjocklek. Jämnviktslinjens nivå varierar med nederbörden och temperaturen, på Spetsbergens västkust ligger den oftast kring 400 meters höjd över havet.

Många av glaciärerna är dessutom av "surge"-typen, vilket betyder att de under korta perioder av ett par månader till ett par års tidsrymd avancerar. Efter en surge-framstöt (svämning) rör inte glaciärfronten sig framåt under en mycket längre period (hundra år eller mer). Glaciärsvämningar i terrestra miljöer producerar

stora volymer sedimentrik död is, som under sin avsmältning är en mycket aktivt sedimentationsmiljö.

Vad händer med glaciärerna just nu?

I media fokuseras huvudsakligen på de senare årens ökade avsmältning av glaciärerna på Grönland, i Antarktis och på spektakulära ställen som till exempel Kilimanjaro. Ofta hör vi om hur stora öar av is lossnar från antarktiska inlandsisens shelfar och om hur isströmmarna accelererar. Mycket av informationen kommer från flyg eller satelliter som används för mätningar av ismaktighet och flödes hastighet. Vill man förstå hur ändringarna i glacialdynamiken påverkar sedimentation och landskapsbildning får man studera processerna i fält.

A. Karta över Spetsbergen (Svalbard). B-C. Detaljkartor över Spetsbergen och området kring Holmströmbreen.

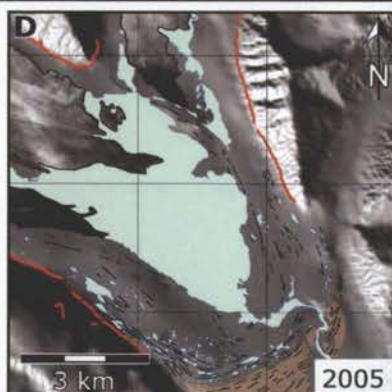
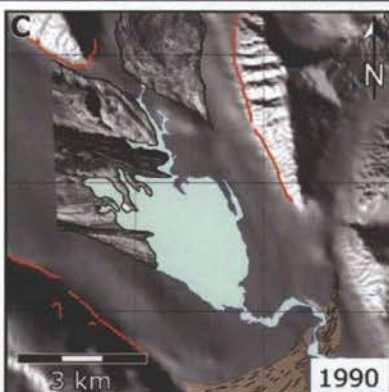
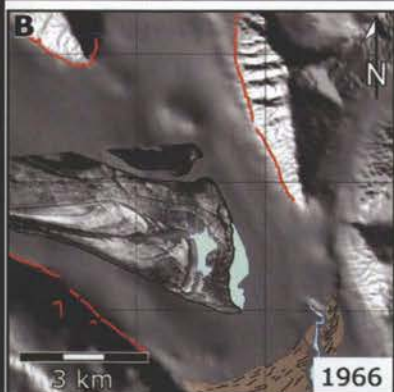


Massa på Spetsbergen?

Även på Spetsbergen ser vi ändringar i glaciärernas dynamik och smältningstakt. Ett antal studier pekar på att den totala nettomassbalansen för Spetsbergens glaciärer är mellan -0.1 och -0.3 meter per år, alltså förloras massa från glaciärerna. Helt färsk forskning-

resultat visar att volymförlusten har accelererat under början på 2000-talet. Volymen reduceras nu upp till fyra gånger så snabbt som under mätperioderna under den senare hälften av 1900-talet. Tidsserier av flygfoton har använts för att skapa höjdmodeller som avslöjar

Överblick över dödissmältningen vid Holmströmbreen, 1936-2005. A. Flygbild från 1936 över den nedersta delen av glaciären. På isen till vänster ses slingrande mittmoräner (looped moraines) som bildades vid "surge"-framstöten. Längst till höger ses den imponerande ändmorän som består av uppskjuvade marina och glaciofluviala sediment. B-D. Under perioden 1966-2005 bildades en jättestor issjö ovanpå dödisen. Sjöns area har växt exponentiellt med tiden, och var år 2005 cirka 15 km². Sjön är i fortsatt tillväxt. Röda linjer är sidomoräner och trimlinjer; brunt markerar ändmoränen.





Conwaybreen (vänster) och en del av Kongsbreen (höger) i Kongsfjorden på Spetsbergen, sommaren 2003. Pilarna visar en så kallad trimlinje, som indikerar höjden på glaciärytan i slutet på 1800-talet. Sedan dess har ytan sänkt sig med cirka 100 meter och glaciärerna har inte längre gemensam front.

glaciärernas uttunning sedan 1930-talet. Överytan av glaciärerna på de södra och västra delarna av Spetsbergen sjönk cirka 20 meter under perioden från 1930-talet till 1990-talet. Det bör poängteras att detta är ett medelvärde för hela perioden. Bakom siffran gömmer sig höjdändringar på 100-150 meter vid vissa glaciärfrester! Tidsserier av flygfoton, satellitbilder och höjdmodeller är alltså mycket starka verktyg för förändringsstudier av glaciala miljöer.

Holmströmbreens utveckling sedan 1800-talet

Detaljstudier av isvolymförändringar, sedimentation och landskapsbildning pågår vid Holmströmbreen bada i fält och med hjälp av analyser av flyg- och satellitbilder. Den äldsta direkta information om Holmströmbreen finns i de Geer-arkivet i Stockholm. Här förvaras fotografier som visar att Holmströmbreen under år 1882 hade sitt randläge precis proximalt om den stora ändmoränen. Det är därför rimligt att anta att senaste framstötten ägde rum vid ett tillfälle under sista hälften av 1800-talet. Dessutom visar senare foton tydliga slingrande mittmoräner (looped moraines) på glaciärytan, vilket tyder på att framstötten var mycket snabb, en så kallad glaciärsvämning eller "surge". Sedan dess har glaciären inte haft fler framstötter, och hela randzonen har utvecklats till ett mycket imponerande dödisområde täckt av sediment som smälter fram ur isen.

Analysen av flygfoton från 1936 och framåt samt nya satellitbilder visar hur utvecklingen av dödisområdet har pågått. Den mest markanta ändring är att en stor issjö har bildats ovanpå den "döda" glaciären. Sjön är dämd mot ändmoränen och tar emot stora mängder sediment från smältvatten och från de omgivande sluttningarna. År 1966 fanns bara två små sjöar med en yta på 0,9 km², under 1990 var ytan 7,4 km² och under 2005 så mycket som 14,7 km². Sjön absorberar mycket mer solljus än glaciär och bidrar på så vis till en ökad

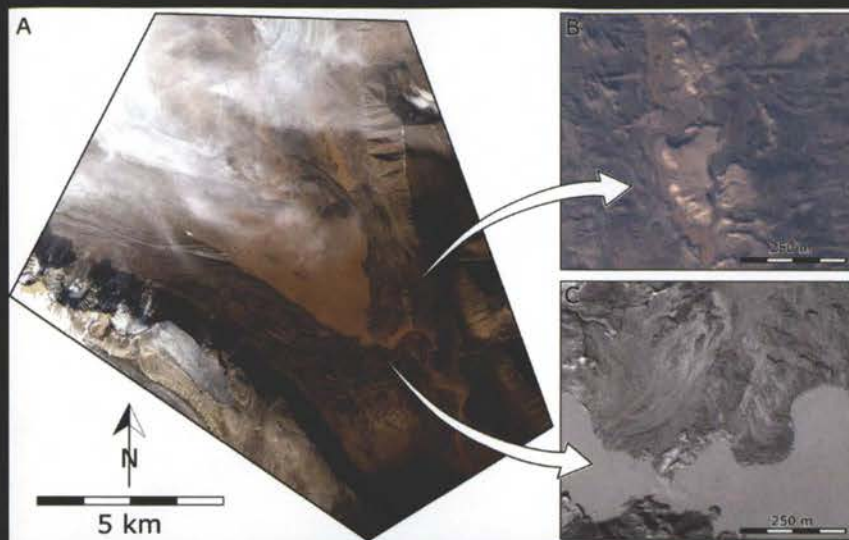
smältning av dödisen och växt av sjöns yta. Marken ovan dödisen sjunker med cirka 90 centimeter per år som följd av isens avsmältning.

Det är klart att avsmältningen av dödisen ger anledning till stora landskapsförändringar. När isen smälter blir sedimenttäckets instabilit och en omlagring sker. På sluttningarna kring sjön transporteras stora volymer sediment nedåt som slamströmmar och i skred på dödisen. Kartering från nya satellitbilder i hög upplösning visar att ungefär 55 procent av slänterna täcks av mycket aktiva processer. Finkornigt material tvättas bort under dessa upprepade tillfällen då materialet omlagras och den kvarvarande moränen blir mer och mer grovkornig. Då sedimenttäckets är nästan helt flytande och vattenmättat är det inte deponerat som ett stabilt lager utan utsätts för en kontinuerlig omlagring. Därvid exponeras nya isytor för smältning och processerna kan fortsätta.

Nya landformer bildas också i dödismiljön. Till exempel finns ett stort antal kullar med helt platt topp. Detta är kames – kullar uppbyggda av issjösediment (främst silt, sand och grus) på en tidpunkt då issjöns läge var högre. Rullstensåsar bildas i samma miljö, men är inte lika vanliga vid Holmströmbreen. Det är dock lite sannolikt att dessa landformer och sediment bevaras, då de vilar på upp till 150 meter tjock dödis. Om man tänker sig en total avsmältning av dödisen skulle det slutliga landskapet vara mäktiga issjöavlagringar på insidan av den stora ändmoränen. Grovkornig dödisomorän kan även tänkas finnas i ett sådant "slutlandskap". Likadana mäktiga issjösediment är välkända från svenska istidslandskap, till exempel backlandskapet i sydöstra Skåne.

Hur ser framtiden ut?

Övervakningen av smältningen vid Holmströmbreen fortsätter i framtiden för att studera klimatförändringarnas inverkan på processerna. Permafrosten förhå-



QuickBird 2 satellitbild av Holmströmbreen, sommaren 2005. Isflödesriktning från vänster mot höger. Data har använts för kartering av sediment och landformer och även för mätning av förändringar vid Holmströmbreen. B. Kames av issjösediment. Multispektral bild, pixelstorlek 2,4 m. C. Slamströmmar på sluttningar i dödisområdet. Pankromatisk bild med högsta möjliga upplösning, pixelstorlek 60 centimeter. Observera att upplösningen är så hög att man ser vågorna på vattnet.

drar smältvatten på isytan att perkolera djupt nedat, och därvid bibehållas ett instabilt, nästan flytande och vattenmättat sedimenttäck. Konsekvensen är att nya dödisytor hela tiden exponeras för avsmältning. Detta kan förklara att smältningshastigheten vid Holmströmbreen är lika stor som på klimatiskt mycket mildare lokaler, till exempel södra Island. Permafrosten betyder dock också att på de platser, där sedimenttäckets mäktighet överstiger sommarens aktiva tinade lager, sker ingen smältning. I likhet med alla andra glaciärer kan man vänta en ökad smältning när temperaturen går upp. Sommartemperaturen på Svalbard har gått upp cirka en grad under de senaste tio åren, och fortsatta studier kommer att avslöja hur dödisen framför Holmströmbreen påverkas.

ANDERS SCHOMACKER är fil.dr. i kvartärgeologi och forskare vid Nordvulk, Geologiska Institutionen på Islands Universitet. E-post: anders@hi.is

MER ATT LÄSA

- Kohler, J., James, T.D., Murray, T., Nuth, C., Brandt, O., Barrand, N.E., Aas, H.F. & Luckman, A. 2007. Acceleration in thinning rate on western Svalbard glaciers. *Geophysical Research Letters* 34, L18502, 1-5.
- van der Meer, J.J.M. 2004. *Spitsbergen push moraines*. *Developments in Quaternary Science* 4, 1-200.
- Nuth, C., Kohler, J., Aas, H.F., Brandt, O. & Hagen, J.O. 2007. Glacier geometry and elevation changes on Svalbard (1936-90): a baseline dataset. *Annals of Glaciology* 46, 106-116.

Schomacker, A. 2005. *Polarforskning ved Holmströmbreen*. *Svalbardposten* 25/2005, 12-13.

Schomacker, A. & Kjær, K.H. 2008. Quantification of dead-ice melting in ice-cored moraines at the high-Arctic glacier Holmströmbreen, Svalbard. *Boreas* 37, 211-215.

Holmströmbreen – en klassisk lokal i svensk polarforskning

Holmströmbreen är 28 kilometer lång och leder bort is från isplatån Høltedahlfonna på centrala Spetsbergen. Högsta punkten på glaciären är 1 100 meter över havet och fronten är belägen 20 meter över havet. Nära fronten flyter Holmströmbreen ihop med två mindre glaciärer, Morabreen och Orsabreen. Framför Holmströmbreen ligger ett sex kilometer långt område av dödis, där isen är täckt av sediment och issjöar och inte rör sig framåt.

Sitt svenska namn fick Holmströmbreen efter Leonard Pontus Holmström (1840–1919), som var doktor och docent i geologi vid Lunds universitet. Holmström forskade bland annat på Skånes glacialgeologi. Det var geologen Gerhard de Geer som namngav glaciären i 1896 under den svenska geologiska expeditionen till Isfjorden. Holmströmbreen och kringliggande områden var även exkursionslokal vid 11:e internationella geologkongressen som hölls i Stockholm 1910.

Inlandsisens mån



ga hemligheter

Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, har tillsammans med flera andra organisationer startat ett projekt på Grönland för att öka kunskapen om förhållandena under en istid. Exempelvis Nasa letar efter liv i extrema miljöer, medan SKB gör studier som kan ge svar på frågor om hur en inlandsis skulle påverka ett slutförvar för använt kärnbränsle.

TEXT Jens-Ove Näslund och Berit Lundqvist

På Grönlands västkust, öster om Søndre Strømfjord, ska SKB tillsammans med den finska motsvarigheten Posiva samt några andra organisationer inom kärnbränslehantering och geovetenskap studera inlandsisen och borra i berggrunden vid iskanten. Huvudsyftet är att öka kunskapen om grundvatten i anslutning till en inlandsis. Projektet handlar också om att undersöka ekosystemen i ett landskap dominerat av permafrost.

Olika infallsvinklar

En av de organisationer som förmodligen kommer att delta i projektet är Nasa. SKB och Nasa intresserar sig för inlandsisar av två helt olika anledningar. För SKB:s del handlar det naturligtvis om hur en istid påverkar ett slutförvar för använt kärnbränsle. Nasa, å andra sidan, letar efter liv i extrema miljöer.

I våras skrev tidningarna om hur marssonden Phoenix landat nära planetens nordpol. Grönlandsprojektet är för Nasas del förberedelser för framtida mer komplicerade expeditioner till Mars. Om 10–20 år planerar Nasa att skicka upp en obemannad farkost som ska kunna borra och hämta hem små kärnor från Mars berggrund.

Bilden till vänster: På Grönland vill SKB undersöka hur en inlandsis påverkar hydrologin och vattenkemin samt hur utbytet mellan olika ekosystem sker när marken ständigt är frusen. Foto: Lena Morén.

Syftet är att ta reda på om det i proverna finns spår av mikrobiellt liv eller aminosyror – livets byggstenar. Nasa planerar även andra uppdrag, till exempel att studera om det finns vatten på planeten. Olika typer av utrustning behöver därför först utvecklas och provas, vilket bland annat ska ske på Grönland.

Måste klara kraven

SKB:s skäl för sitt engagemang i Grönlandsprojektet är betydligt mer jordnära. Ett slutförvar för använt kärnbränsle ska klara myndigheternas säkerhetskrav även under istider. Kraven gäller i 100 000 år. Det är en så lång tidsperiod att SKB, trots den pågående globala uppvärmningen, behöver analysera fall av nedisning i både Forsmark och Laxemar, de platser som är aktuella för ett slutförvar. Sverige går med andra ord mot en ny istid, oavsett om den inträffar om 5 000 år, 50 000 år eller ännu längre fram i tiden.

SKB:s huvudfråga är dock inte att utreda den mest sannolika tidpunkten för när nästa istid börjar. I säkerhetsanalyserna gäller det istället att täcka in alla tänkbara möjligheter för att fastställa hur stora påfrestningarna kan bli för slutförvaret.

Speciellt angeläget är det att studera de förändringar som påverkar förvarets skyddsbarriärer: koparkapseln, bufferten av bentonitlera och berget. SKB undersöker också förändringar på ytan och vad som händer om radioaktiva ämnen sprids i exempelvis en miljö nära en inlandsis där det råder permafrost.

En viktig fråga vid analyserna är hur grundvattnets strömning och kemi påverkas vid istider. För att slutförvaret ska förbli säkert ska det inte uppkomma några stora vattenflöden runt kapslarna. Vattnet bör inte heller bli för salt, ha för låg salthalt eller innehålla löst syre.

Inlandsisen styr vattenomsättningen

Under varma perioder (interglacialer) regleras grundvattenomsättningen i berget av nederbörden och höjdskillnader i naturen. Däremot styr inlandsisen vattenomsättningen under perioder av nedisning. Isens tyngd trycker ner berggrunden och belastningen i berget förändras. Samtidigt styr isens form och hydrauliska egenskaper var grundvattnet bildas och hur det rör sig. Det leder till att vattnet kan ta delvis nya vägar och att vattenflödena förändras. Smältvattnet från isen har dessutom låg salthalt och innehåller löst syre vilket skulle kunna påverka slutförvarets funktion.

När klimatet är kallt och permafrosten breder ut sig, till exempel innan en inlandsis kommer till



platsen, påverkar också detta hur grundvattnet rör sig. Permafrost kan även leda till att grundvattnet blir saltare.

För att studera alla dessa frågor närmare har SKB vänt blicken västerut mot Grönland. Här finns en inlandsis som kan studeras i fält under relevanta förhållanden. Bergarterna i det utvalda området på västra Grönland påminner mycket om dem i Forsmark och Laxemar – en förutsättning för att studien ska vara meningsfull för SKB.

Hydrologi i fokus

Till stor del handlar Grönlandsprojektet om att undersöka hydrologin hos inlandsisen och i berggrunden i direkt anslutning till isen. De hydrauliska förhållanden som råder vid isens botten, vid gränsen mot morän och berg, har stor betydelse för var och hur grundvattenet bildas under inlandsisen.

Vissa partier av isen är bottenfrusna. Här finns inget fritt vatten och följaktligen sker ingen grundvattenbildning överhuvudtaget. Andra partier är botten-smältande och här bildar smältvattnet grundvatten. Fördelningen av botten-smältande och bottenfrusna förhållanden styrs av många faktorer, bland annat av klimatet vid isytan, isens dynamik och rörelse samt värmeflödet i berggrunden.

Dessutom kan vatten från isens yta ta sig ner till botten genom sprickor och glaciärbrunnar och bilda grundvatten. Det sker i områden nära inlandsisens front, där smältningen sker på ytan. En outredd fråga är över hur stort område detta vatten kan nå botten.

Grönlandsprojektet kommer att hålla på i fyra år. Verksamheten i fält startade denna sommar. Dels placerades ett antal väderstationer och GPS-mottagare ut på isen i samarbete med danska, holländska och engelska forskare, dels genomfördes en geologisk kartering av berggrunden framför inlandsisen inför den kommande borrhningen i berggrunden.

Data från väderstationerna används för att beräkna hur mycket smältvatten som produceras och GPS-mottagarna mäter isrörelse. Det finns ett tydligt samband mellan dessa två parametrar. Hur mycket isen rör sig beror till stor del på hur mycket smältvatten som produceras och vilket tryck vattnet har vid isens botten. Genom att i detalj studera hur isens rörelser varierar går det att dra indirekta slutsatser om vilka hydrauliska förhållanden som råder vid dess botten.

Radar ser smältvatten

Nästa sommar fortsätter radarmätningarna i samarbete Danmarks Tekniska Universitet eller Nasa. Genom att flyga över isen och samla in data kartläggs hur tjock isen är, var den är bottenfrusen och var den är botten-smältande.

För SKB och flera andra organisationer inom kärnbränslehantering är det hydrauliska trycket vid isens botten en parameter av stort intresse, eftersom det påverkar grundvattenflödet. Därför planerar teamet att borra igenom isen på tre till fyra ställen längs en profil från iskanten in över istäcket, ungefär mellan 10 och 250 kilometer från iskanten. Med hjälp av resultaten från radarstudierna väljer forskarna borrhplatser där de vet att isen är botten-smältande.

I borrhålen kommer man bland annat att mäta det subglaciala vattentrycket för att se hur det varierar lokalt, regionalt och över tiden. Faktiska mätningar av vattentryck har aldrig tidigare genomförts i den här skalan på en inlandsis. Resultaten kommer att användas för att förbättra antagandena i SKB:s resonemang och modellsimuleringar. I några av dessa borrhål planerar också Nasa att ta prov på smältvattnet för att leta efter mikrober och aminosyror.

Borring framför iskanten

På sin väg ner genom berget reagerar det lösta syret i grundvattnet med mineraler i sprickor och berg. Sommaren 2010 kommer SKB att undersöka hur djupt det glaciala smältvattnet har trängt ner i berget, detta genom att borra ett hål i berggrunden ner till omkring 500 meters djup – samma djup som slutförvaret ska ligga på.

Hålet börjar i det isfria området nära iskanten och riktas snett in under inlandsisen. I hålet kommer grundvattnets flöde och kemiska sammansättning att studeras, allt för att se hur inlandsisen påverkat grundvattnet och förhållandena i berggrunden på förvarsdjup. I samma borrhål planerar Nasa, liksom i borrhålen i isen, att ta prover på vattnet för att leta efter spår av liv.

Ekosystem vid permafrost

Lika viktigt som att studera vad som händer under isen och nere i berget är det att få ökad kunskap om de processer som äger rum på markytan. Det är ju på markytan ett eventuellt utsläpp av radioaktiva ämnen

SKB och en rad andra organisationer ska under de närmaste åren undersöka hur den grönländska inlandsisen påverkar hydrologin. Bland annat ska ett 500 meter djupt hål ska enligt planerna borrar i berget utanför iskanten och riktas in snett under isen. Foto: Jens-Ove Näslund

skulle få effekter.

I SKB:s säkerhetsanalyser har forskarna – med organiskt kol som gemensam valuta – upprättat en budget över hur radioaktiva ämnen rör sig i olika naturtyper i tid och rum. De kan då beräkna vilka konsekvenser ett eventuellt utsläpp skulle få för människor och miljö i form av stråldos. Organiskt bundet kol fungerar som en indikator på hur mycket radioaktiva ämnen som kan förflyttas i näringsvävorna.

I Grönlandsprojektet ska SKB förbättra sina modeller ytterligare genom att studera hur biosfären ser ut och fungerar när permafrost råder. I första hand vill man bättre förstå ekosystemen för att kunna förutsäga hur utbytet av olika viktiga ämnen mellan dem sker. Fältstudierna började i augusti med insamling av bland annat växter samt provtagning av ytvatten och jordarter.

Observationer minskar osäkerheter

I arbetet med att analysera den långsiktiga säkerheten för slutförvaret använder SKB en lång rad pessimistiskt valda fall för att täcka in de osäkerheter som råder, till exempel för de hydrauliska förhållandena vid en nedisning. I den senaste säkerhetsanalysen för ett slutförvar för använt kärnbränsle, SR-Can, konstaterades att glacialt bildat grundvatten kunde leda till att bufferten av bentonitlera eroderar under pessimistiskt valda förhållanden. Detta medför i sin tur en ökad risk för korrosionsangrepp på kapslarna.

För att minska osäkerheterna i kommande säkerhetsanalyser, både för slutförvaret för använt kärnbränsle och för slutförvaret för låg- och medelaktivt avfall, behöver SKB och motsvarande verksamheter i andra länder veta mer om de processer som verkar under en istid. Observationerna från den grönländska inlandsisen utgör här ett viktigt bidrag till att förbättra de konceptuella och matematiska modeller som används. Resultaten från vissa av SKB:s undersökningar kommer också att användas, av andra, för att uppskatta hur känslig den grönländska inlandsisen är för den globala uppvärmningen.

JENS-OVE NÄSLUND och BERIT LUNDQVIST, Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB



Smältvattnet från inlandsisen bildar tunnlar i isen. Foto: Lena Morén.



Helikoptern är ett viktigt arbetsredskap. Radarmätningar från helikopter kommer att ge besked bland annat om var isen är bottenfrusen och var den är bottenmältande. Foto: Lena Morén.



Uppe på inlandsisen finns sjöar, på bilden delvis frusen. Sjöarna dräneras periodvis så att vattnet hamnar vid isens botten och påverkar isens rörelse och dynamik. Sjön på bilden har en diameter på cirka 900 meter. Foto: Lena Morén.



Meteorit jakten



Övre bilden: Satellitbild av Antarktis. Copyright: NASA Blue Marble. Stora bilden: Ultraren insamling av en meteorit. Foto: Marie Keiding.

Varje år kring jul drar en liten grupp forskare till Antarktis för att samla in meteoriter på Östantarktis. Himlastenarna kan ge forskarna ovärderliga insikter i vårt solsystems tidiga utveckling, inklusive bildningen av Jorden och de andra planetera runt omkring oss.

TEXT Marie Keiding, originalspråk danska
ÖVERSÄTTNING Anna Kim-Andersson

Systematisk insamling av meteoriter i Antarktis har skett sedan 1974, då japanska forskare hade insett att det i Antarktis finns mekanismer som koncentrerar meteoriter till vissa områden. Året därpå startade geologen

ånga) eller fysisk avslipning på grund av snö och ispartiklar som förs bort med de kraftiga katabatiska vindar som blåser från Sydpolen. I några områden bromsas isens rörelse innan den når havet. Detta sker primärt längs den transantark-

Meteoriterna är som regel lätta att känna igen på grund av sina mörka och skinande smältskorpor, som bildas när stenarna faller genom Jordens atomsfär.

Meteoritjakten kan vara ansträngande för deltagarna, både

på Östantarktis

William Cassidy från University of Pittsburgh det amerikanska programmet U.S Antarctic Search for Meteorites, ANSMET, som nu leds vidare av Cassidys student Ralph Harvey från Case Western Reserve University. Programmet har nu genomförts mer än 30 säsonger, främst med ekonomiskt stöd från amerikanska National Science Foundation.

Meteoriterna faller ner överallt på jorden i ungefär lika stora mängder. Men det är två förhållanden som gör att Östantarktis är en bra plats att leta meteoriter på. Dels är det en låg koncentration av terrestiska stenar på Antarktis, vilket gör det lättare att finna meteoriterna. Dels ansamlas meteoriterna inom vissa områden på grund av isens rörelse från den högre delarna av inlandsisen mot dess kant.

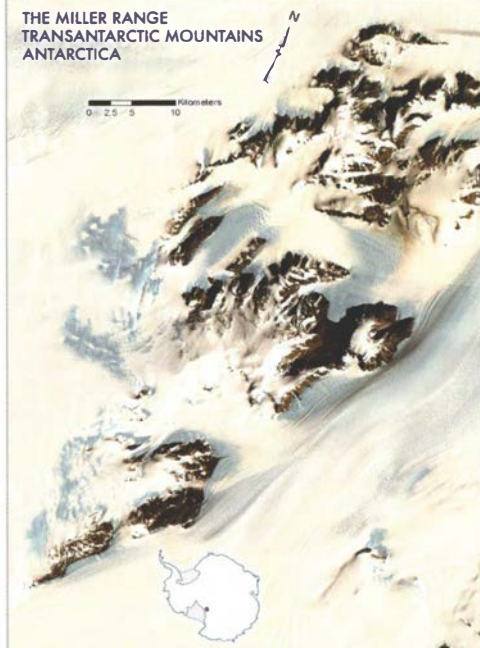
Den centrala delen av den östantarktiska inlandsisen är en ackumulationszon där snö faller och pressas ihop till is allt eftersom det faller mer snö. Längs kanten av isen finns det däremot zoner där det också faller snö, men där det sker en nettoförlust av is. Förlusten sker antingen på grund av kalvning av isberg, smältning, sublimering (den direkta övergången från is till

tiska bergskedjan, som sträcker sig tvärs över kontinenten och avgränsar den östantarktiska inlandsisen från den västantarktiska halvön. Längs bergskedjan bildas därför mycket gamla överytor, där de stenar som förs med isen ackumuleras allteftersom isen eroderas bort av sol och vind.

Den systematiska meteoritjakten har inte ändrats särskilt mycket under årens lopp. Deltagarna ställer upp på linje med upp till 30 meters avstånd beroende på koncentrationen av de stenar som ska undersökas, därefter rör deltagarna sig framåt över den meteoritbärande överytan. När linjen är undersökt skiftar deltagarna till en parallell bana, som regel med ett visst överlapp till den förra linjen. Exakt hur tätt deltagarna är utplacerade, och hur mycket tid som används, beror på koncentrationen av terrestiska stenar samt på de lokala geografiska förhållandena, även eventuella faror samt vägförhållandena har betydelse. I områden där det är många terrestiska stenar genomförs eftersökningen till fots, medan man använder snöskotrar i de områden där de flesta stenarna är extraterrestiska.

fysiskt och psykiskt, och därför har forskarna gjort flera försök med instrumentella sensorer för att se om de mänskliga insatserna kan begränsas. Men hittills har man dock inte hittat någon teknik som kan leva upp till det mänskliga ögats imponerande förmåga att snabbt och säkert skilja mellan olika element i området och identifiera de element som är unika eller kommer utifrån. ANSMET har exempelvis testat en robot utrustad med flera sensorer och avancerad mjukvarudesign, för att finna meteoriter. Roboten kunde hitta meteoriter men försöken visade en erfaren mänsklig meteoritjägare kunde hitta många fler meteoriter och genomsöka ett betydligt större område på samma tid.

Att samla in en meteorit i fält tar bara några få minuter. Meteoriter får ett nummer, fotograferas på plats och stenens storlek och typ antecknas. Meteoriten plockas därfeffer upp med en ren tång och läggs i en plastpåse som förseglas noggrant med tejp. Fyndplatsen registreras med GPS. Under insamlingen försöker deltagarna att undvika kontakt med proven för att minska



Till vänster: Satellitbild av Miller Range-området i den transantarktiska bergskedjan, de blå områdena på bilden är mycket gamla överytor, där meteoriterna ackumuleras. Copyright: ASTER, med tillstånd av Antarctic Search for Meteorites Program. Till höger: Insamling av en meteorit. Foto: Marie Keiding.

kontamineringen. Det händer dock att en meteorit kommer i kontakt under insamlingen, att den till exempel blir överkörd av en snöskoter eller att någons näsa droppar på stenen. Sådana händelser antecknas givetvis i fält.

Efter insamlingen i fält sänds meteoriterna till ett laboratorium hos NASA i Texas, där de undersöks och katalogiseras. Efter detta blir meteoriterna offentliggjorda genom publicationen Antarctic Meteorite Newsletter, varvid alla intresserade forskare kan ansöka om att få del av proverna till sina experiment, utan kostnad för den enskilda forskaren.

ANSMET-programmet fokuserar alltid främst på insamlingen av meteoriter, men det bedrivs också parallella projekt under expeditionerna. Ett väsentligt fortlöpande sidoprojekt är mätningen av isens rörelse och erosion med hjälp av stälstänger som är fastgjorda i isen och positionerade med GPS. Ett annat sidoprojekt under säsongen 2007-2008 har som syfte att undersöka innehållet av levande mikrober i meteoriterna. Med anledning av detta har det samlats in ett antal meteoriter där forskarna sett till att minimera kontamineringen. Den ultrarena insamlingen blev gjord

av två deltagare i rena överdragskläder, som gick de sista 20 till 30 metrarna i motvind mot meteoriten medan de andra deltagarna höll sig på avstånd med avstängda snöskotrar. Hittills har undersökningarna av meteoriternas innehåll av mikrober inte visat på några spår av liv. Levande organismer tycks inte kunna leva i en sten som ligger obeskyddad mot isplatans kraftiga vindar och kyla.

För deltagarna är meteoristjakten helt klart det bästa under resan långt hemifrån. Det är otroligt spännande att hitta något ovanligt, som en sten från Månen eller Mars, eller rentav en helt okänd sort. När en meteorit blir hittad samlas alla som deltar i meteoritjakten. Det behövs egentligen inte mer än tre personer för att samla in stenen, men alla vill se fyndet och detta blir ett tillfälle att utväxla tankar och bolla idéer. En annan sak som de små pauserna medför är chansen att få lite fler kalorier inombords, som regel i form av choklad eller torkad frukt. Genom att hela tiden hålla kroppens förbränning igång höjer man sin värme. Under de goda dagarna med sol och begränsad vind är det lätt att njuta av jakten på himlastenar och de storslagna vyerna över islandskapet!

Deltagarna i ANSMET-programmet ställer upp frivilligt och oavlönat. De flesta är planetforskare, men även polarforskare och en handfull astronauter och konstnärer har deltagit. Många undrar om vi deltagare behåller några av meteoriterna, men det gör vi inte. Ett av huvudskälen till att ANSMET-programmet har kunnat existera i mer än 30 år är att alla de insamlade meteoriterna blivit tillgängliga för intresserade forskare. Detta står i skarp kontrast till meteoritfynd från andra delar av världen där privata samlare skapat ett omvänt proportionellt förhållande mellan det vetenskapliga värdet av ett prov och den mängd material som är tillgängliga för vetenskapen. Men viktigast är att ingen meteorit som kan mäta sig med de upplevelser som vi meteoritjägare får. Vi kommer till platser och får uppleva saker som mycket få människor någonsin får möjlighet till. Det är den största gåva som vi kan ta med oss hem.

Både det amerikanska och det japanska programmet har fortsatt fram till idag med stor framgång. Nära 30 000 meteoriter har hittills hittats på Antarktis. Detta motsvarar 85 procent av världens meteoritsamling

i antal sett. Och det finns åtskilliga exempel på att meteoriter från Antarktis har utvidgat det kända litologiska spektrumet för olika meteoritgrupper. Vid några tillfällen har de rentav definierat en helt ny litologi. En stor del av de sällsynta akondritter är hittade på Antarktis inklusive flera exemplar från Månen och Mars samt några hittills unika akondritter (som LEW86220 och GRA06128). De antarktiska meteoriterna har också bidragit till förståelsen av mer allmänna akondritter och kondritter. Även om det idag finns en betydande samling av meteoriter på Jorden, finns det många kunskapsluckor kvar att fylla och det finns behov av nya meteoritfynd.

En sammanvägning av sammansättningen hos de meteoriter som har observerats som infallande på Jorden i modern tid visar att den antarktiska samlingen är nästan komplett. Det är antagligen den låga koncentrationen av terrestriska stenar som gör det lättare att finna och identifiera meteoriter än i till exempel Saharaöknen där några av Jordens andra viktiga meteoritsamlingar är insamlade. Den antarktiska samlingen har en lägre genomsnittlig storlek och innehåller ovanligt många små stenar, vilket beror på att de säkert skulle ha missats om de fallit ner i öknen. Den antarktiska samlingen ger därför en unik inblick i den litologiska och geokemiska sammansättningen av den inre delen av vårt solsystem.

Marie Keiding är doktorand i geofysik vid Islands universitet. Två gånger har hon deltagit i meteoritjakten på Antarktis. E-post: marie@hi.is

LITTERATUR

- Mansfeld, J. & von Dalwigk, I, 2005: *Budbärare från den tredje dimensionen*. Geologiskt Forum 47, 4–5.
- Harvey, R., 2003: *The origin and significance of Antarctic meteorites*. Chemie der Erde Geochemistry 63, 93–147.



Tre meteoriter som insamlades under ANSMET säsongen 2007–2008. A. En sällsynt akondrit, som kan tänkas härstamma från Mars. B. En allmän kondrit fullständigt täckt av smältskorpa och som formades till en lins när stenen föll genom Jordens atmosfär. C. En fältspat-breccia från Månen. Copyright: Antarctic Search for Meteorites Program, Case Western Reserve University.



Antarktis grön

Bland snö och is känns djungeldoften avlägsen. Men med geologens ögon var det inte länge sedan Antarktis var en grön och lummig kontinent.

TEXT Kent Larsson

På en kontinent som idag till drygt 98 procent täcks av is är det märkligt att de mest vanliga fossilen som påträffas i de sedimentära lagren utgörs av växtfossil. Detta visar att under merparten av åtminstone de senaste 300 miljoner åren har Antarktis utgjort en grön, skogsbeklädd kontinent även vid tidsperioder när kontinenten legat kring Sydpolen. Klimatmässigt har dessa skogar varit anpassade till allt ifrån det kretaceouska drivhusklimatet till det neogena ishusklimatet. Detta kan studeras utifrån fossila löv, trädstammar och pollen.

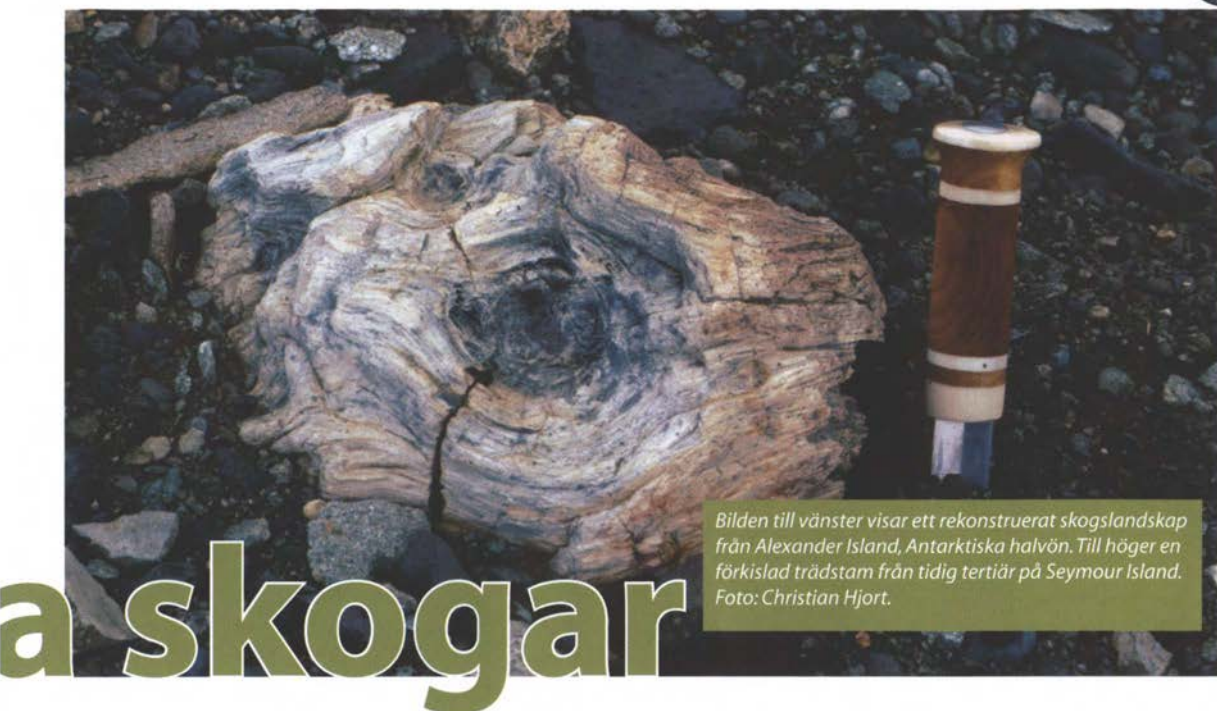
Under mellersta och övre krita frodades växter i ett subtropiskt klimat med sommartemperaturer på över 20° C (Francis et al 2008). Under paleocen förlorade de värmeälskande växterna gradvis sin plats i vegetationen och ersattes av skogsdominerade av barrväxter (*Araucaria*) och sydbok, *Nothofagus*, vilka tolererade fryskalla vintrar. Växterna klamrade sig fast på höga latituder även efter det att det antarktiska istäcket började utbreda sig och under värmeperioder i pliocen kunde dvärgformer av *Nothofagus* leva så nära som 500 kilometer från Sydpolen.

Idag finns två kärlväxter på kontinenten, nämligen på Antarktiska halvön. Det är dels ett gräs *Deschampsia antarctica* och en nejlikväxt *Colobanthus crassifolius*. Den senare finns upp till 68° 21' sydlig bredd. Olika kryptogamer finns dock i betydligt större antal på kontinenten med ca 400 lavar, 75 arter bladmossor och 20 arter

levermossor. Den tämligen rikliga kryptogamfloran har bland annat kunnat konstateras vid de svenska forskningsstationerna Wasa och Svea i Dronning Maud Land, det vill säga upp till 400 kilometer från kusten och upp till 2 000 meters höjd över havet. I de Transantarktiska bergen finns idag lavar upp till 86° S.

Anpassning till höga breddgrader

Växter på hög latitud måste anpassa sig till speciella fysiologiska förhållanden. I studiet av detta är särskilt årsringarna av intresse eftersom nutida undersökningar visar att deras tillväxt är starkt beroende av klimatet och årstidsväxlingar i ljusstillförseln. Detta blir särskilt påtagligt i de polnära områdena, där sommarens 24 timmars sol avlöses av vinterns 24 timmar mörker. Den maximala tillväxten hos växterna vid sydliga höga latituder bestäms således av sommarens solinstrålning. Årsringar från trädstammar från perm till krita uppvisar en genomsnittlig tjocklek av 2,2–2,5 millimeter, men från trias finns exempel på upp till tio millimeter tjocka årsringar. Den ljusenergi som är tillgänglig för växterna är även beroende på växternas närhet till varandra. På Alexander Island vid Antarktiska halvöns västsida har man i kritalager påträffat träd *in situ* som beräknats ha en tämligen gles placering, cirka 563 träd per hektar (Creber & Chaloner 1985) vilket medfört ringa skuggning från granträden. Beräkningar visar att det finns tillräckligt med ljus



Bilden till vänster visar ett rekonstruerat skogslandskap från Alexander Island, Antarktiska halvön. Till höger en förkislad trädstam från tidig tertiär på Seymour Island. Foto: Christian Hjort.

a skogar

under sommaren för en god tillväxt (Creber 1990), varför variationer i solljus inte är något problem. I stället är det temperaturen, som är den begränsande faktorn för trädväxten på höga latituder (Creber 1990) och som förklarar frånvaron av skogar i Antarktis idag. Variationer i CO_2 -halt spelar även en viss roll, särskilt visat under till exempel karbontidens och kritatidens drivhusklimat. Som en anpassning till vinterns mörker och kyla tyder lövmattor i skilda lager på att en del träd har haft lövfällning som en skyddande mekanism, men ett städsegrönt växtsätt har även funnits hos flera trädslag på höga latituder.

Antarktiska skogar från skilda tider

Växter finns redan från devon i Antarktis i form av små lummerväxter i de Transantarktiska bergen (TAM), Edwards (1990), men det är först i tidig perm, som mer trädartade växter börjar uppträda. De representeras framför allt av olika ormbunksväxter, vilka domineras av fröormbunken *Glossopteris*, sinnebilden för Gondwanakontinenten. Denna flora finns tämligen rikligt i olika delar av Öst-Antarktis, bl a i västra Dronning Maud Land och Prince Charles Mountains samt i de Transantarktiska bergen. Det är inte ovanligt att just *Glossopteris*-blad påträffas som lövmattor, vilket kan bero på att bladen fällt under vintersäsongen (Ziegler 1990). Den tidigaste permiska floran bildade i huvudsak en lågväxande vegetation anpassad till alltifrån periglacialt, kallt klimat till kalltempererade förhållanden. Att produktiviteten i dessa skogar varit hög visas inte minst av de ibland 5–10 meter tjocka kolfloärs, som påträffas särskilt i lager från den senare delen av perm. Utöver jätteormbunkar finns gott om andra representanter bland kryptogamerna såsom

lummer- och fräkenväxter.

Övergången till trias med massutdöendet vid perm-triasgränsen märks tydligt, där den antarktiska *Glossopteris/Gangamopteris*-floran ersätts av andra fröormbunkar, särskilt av släktena *Dicroidium/Lepidopteris*, som uppvisar rik diversitet (McLoughlin et al 1997). De varma torra förhållanden som kännetecknar trias början påverkade produktiviteten påtagligt och det dröjer exempelvis 20 miljoner år innan nya kolavlagringar bildas när fuktigare förhållanden ånyo inträder. Såväl det permiska som triassiska trädmaterialiet uppvisar anpassningar till ljus/mörkeracykler under året med tydlig försommar- resp höstved i dess årsringar så långt söderut som 80–85° S under perm och cirka 75° S i trias (Ryberg & Taylor 2007). Särskilt väl bevarade årsringar finns från TAM på grund av förkislade trädstammar, som medger detaljerade anatomiska studier. Den snabba tillväxten har bland annat resulterat i att trä från denna tid uppvisar en porös, svampaktig struktur. Av speciellt intresse är att på flera ställen har träkol påträffats i de växtförande lagren, vilket tyder på säsongsvisa skogsbränder.

Kunskapen om antarktiska skogar från jura och framåt kommer framför allt från Antarktiska halvön, där en mer eller mindre kontinuerlig historia kan utläsas i sedimenten. Även i TAM finns juraväxter påträffade, bland annat i form av stammar från barrväxter med en diameter upp till en meter. Växtmaterialiet från exempelvis Mt Flora i Hope Bay på Antarktiska halvöns östsidan visar att området varit täckt av fräkenväxter, ormbunkar, fröormbunkar, kottepalmer, bennettitaller och barrträd (Halle 1913, Gee 1989, Rees & Cleal 2004). Barrträden, som dyker upp under juran i Antarktis, blir sedan ett bestående element under



åtskilliga miljoner år.

Antarktis kan ha utgjort ett viktigt evolutionärt centrum för nya växttaxa under mesozoikum, inte minst bland blomväxterna (Askin 1989, Dettman 1989, Askin & Spicer 1995). Under sen krita – tidig tertiär råder växthusklimat på Antarktiska halvön (Poole & Francis 1999). Växtmaterialet liknar mycket det vi idag har i tempererade regnskogar i till exempel södra Chile, Tasmanien och Nya Zeeland. Inledningsvis dominerade sydliga barrträd såsom *Araucaria* och podokarper toppskiktet av regnskogarna medan undervegetationen omfattade talrika ormbunkar och bennettitaller av regnskogstyp (Francis 1990). Blomväxterna uppvisar låg diversitet under Turon-Coniac men konkurrerar gradvis ut ormbunksfloran och under de följande 40 miljoner åren fram till tidig tertiär ökar angiospermerna till en dominerande komponent i regnskogarnas mellan- och toppskikt. Campan kännetecknas bland annat av bredlövlade, städsegröna samhällen samt lövfällande arter av *Nothofagus*, som för första gången uppträder i sedimenten på Seymour Island (Francis 1991). Blomväxternas spridning medförde färg, smak och doft till det antarktiska landskapet med sina blommor, fröer, frukter, blad och bark. Av det samtida fossilmaterialet är det klart att inte minst såväl de placentala som marsupiala däggdjuren utnyttjade denna nya födonisch. Breda och jämna årsringar i det kretaceiska och eocena trä materialet indikerar gynnsamma klimatförhållanden. Dock kan en drastisk kortvarig förändring i tillväxten spåras samt diversitetsförändringar under övre Maastricht och Paleocen på Seymour Island, vilket skulle kunna tyda på en avkylning. Temperaturuppskattningar från det fossila blomväxtematerialet ger en medeltemperatur av 7° C för Maastricht, 4–8° C i Paleocen och 7–15° C för Eocen (Francis & Poole 2002). Såväl varmt tempererade som tropiska arter är vanliga, men de senare

försvinner dock successivt från tidig tertiär. Mellersta tertiär uppvisar kustnära tempererade skogar med *Nothofagus*arter. Diversiteten minskar stadigt som ett resultat av den fortgående avkylningen av kontinenten, men inga tecken finns på t ex en tundravegetation under Oligocen-Miocen. Hur länge riktiga skogsbestånd funnits på Antarktis är dock osäkert på grund av få fynd efter Oligocen.

De sista vegetationsfynden innan den totala nedisningen av Antarktis utgörs av *Nothofagus*blad ansamlade i bladmat-
tor, rötter *in situ* och stammar i den så kallade Siriusgruppen (Francis et al 2007). Detta material uppträder i sjösediment, som under- och överlagras av glaciala sediment (diamiktiter). Det anmärkningsvärda med denna växtförekomst, som dateras till Pliocen (3–2.5 miljoner år), är läget: Transantarktiska bergen på drygt 1 700 meters höjd och på 85° S bredd. Studier av trädstammarna



Övre bild: Permiskt stenkol från Prince Charles Mountains. Foto: Stephen McLoughlin. Nedre bild: Glossopterisblad från mellersta perm vid Kirwanveggen, Dronning Maud Land. Foto: Kent Larsson.

visar på ett krypande växtsätt, inte olik det som polarvide uppvisar idag. Temperaturuppskattningar ger en årsmedeltemperatur av -11° C till -3° C och korta somrar med cirka +5° C (Francis & Hill 1996). Detta fossilfynd har givit upphov till olika tolkningar av glaciationsförloppet på Antarktis under sentertiär tid (Denton et al 1993; Webb & Harwood 1991), men det torde dock vara klart att en tillfällig klimatförbättring inträtt under mellersta Pliocen, som medgivit ett vegetationstäckte av tundratyp.

Framtiden

De två nu levande högre växterna på den Antarktiska halvön har ökat i antal de senaste decennierna som ett resultat av den snabba globala temperaturhöjningen, som är särskilt påtaglig i polartrakterna. Den fortsatta klimatutvecklingen kan medföra en återmigration av växter från Sydamerika till Antarktis, ett scenario som förts fram av flera paleobotanister, bland annat Edith Taylor vid Kansas University (KU News Release July 27, 2007). Kanske kan vi därför i en inte allt för avlägsen framtid åter möta små skogsbestånd på den Antarktiska halvön, då sannolikt av den tidigare så dominerade sydboken, *Nothofagus*.

KENT LARSSON är professor i geologi vid Centrum för GeoBiosfärsvetenskap, Lunds universitet.



LITTERATUR ANTARKTIS GRÖNA SKOGAR

- Askin, R.A., 1989: Endemism and heterochroneity in the Late Cretaceous (Campanian) to Paleocene palynofloras of Seymour Island, Antarctica: implications for origins, dispersal and palaeoclimates of southern floras. In: Crame, J.A. (ed.): *Origins and Evolution of the Antarctic Biota*. Geological Society Special Publication 47, 107–119.
- Askin, R.A. & Spicer, R.A. 1995: The Late Cretaceous and Cenozoic history of vegetation and climate at northern and southern high latitudes; a comparison. In: *Effects of past global change on life*. Studies in geophysics 1995, 156–173.
- Creber, G.T. 1990: The South Polar Forest Ecosystem. In Taylor, T.N. & Taylor, E.L. (eds.): *Antarctic Paleobiology*: Springer-Verlag, 37–41.
- Creber, G.T. & Chaloner, W.G. 1985: Tree growth in the Mesozoic and early Tertiary and the reconstruction of palaeoclimates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 52, 35–60.
- Denton, G.H., Sugden, D.E., Marchant, D.R., Hall, B.L. & Wilch, T.I. 1993: East Antarctic ice sheet sensitivity to Pliocene climate change from a Dry Valleys perspective. *Geografiska Annaler* 75a, 155–204.
- Dettman, M. E. 1989. Antarctica: Cretaceous cradle of austral temperate rainforests: In: Crame, J.A. (ed.): *Origins and Evolution of the Antarctic Biota*. Geological Society Special Publication No. 47, 89–105.
- Edwards, D. 1990: Silurian-Devonian Paleobotany: Problems, Progress, and Potential. In: Taylor, T.N. & Taylor, E.L. (eds.): *Antarctic Paleobiology*. Springer-Verlag, 89–101.
- Francis, J.E. 1990: Polar fossil forests. *Geology Today May-Jun 1990*, 92–95.
- Francis, J.E. 1991: Palaeoclimatic significance of Cretaceous-early Tertiary fossil forests of the Antarctic Peninsula. In: Thomson, M.R.A., Crame, J.A. & Thomson, J.W. (eds.): *Geological Evolution of Antarctica*. International Symposium on Antarctic Earth Sciences, 5, 623–627.
- Francis, J.E. & Hill, R.S. 1996: Fossil Plants from the Pliocene Sirius Group, Transantarctic Mountains: Evidence for Climate from Growth Rings and Fossil Leaves. *PALAIOS* 11, No. 4, 389–396.
- Francis, J.E. & Poole, I. 2002: Cretaceous and early Tertiary climates of Antarctica: evidence from fossil wood. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 182, 47–64.
- Francis, J.E., Haywood, A.M., Ashworth, A.C. & Valdes, P.J. 2007: Tundra environments in the Neogene Sirius Group, Antarctica: Evidence from the geological record and coupled atmosphere-vegetation models. *Journal of the Geological Society* 164(2), 317–322.
- Francis, J.E., Ashworth, A., Cantrill, D.J., Crame, J.A., Howe, J., Stephens, R., Tosolini, A.-M. & Thorn, V. 2008: 100 Million Years of Antarctic Climate Evolution: Evidence from Fossil Plants. In: Cooper, A. K., Barrett, P.J., Stagg, H., Storey, B., Stump, E., Wise, W. and the 10th ISAES editorial team, (eds.): *Antarctica: A Keystone in a Changing World*. Proceedings of the 10th International Symposium on Antarctic Earth Sciences. Washington, DC: The National Academies Press, 19–28.
- Gee, C.T. 1989: Revision of the Late Jurassic/ Early Cretaceous flora from Hope Bay, Antarctica. *Palaeontographica. Abteilung B: Palaeophytologie* 213, 149–214.
- Halle, T.G. 1913: The Mesozoic flora of Graham Land. *Wissenschaftliche Ergebnisse der Schwedischen Sudpolar-Expedition 1901–1903, Bd III, Lieferung 14*, 1–123.
- KU News Release July 27, 2007: Antarctic research earns KU paleobotanist a high honor. <http://www.news.ku.edu/2007/july/27/taylor.html>
- McLoughlin, S., Lindström, S. and Drinnan, A.N. 1997: Gondwanan floristic and sedimentological trends during the Permian-Triassic transition: new evidence from the Amery Group, northern Prince Charles Mountains, East Antarctica. *Antarctic Science* 9, 281–298.
- Poole, I. & Francis, J.E. 1999: The first record of fossil atherospermataceous wood from the upper Cretaceous of Antarctica. *Review of Palaeobotany and Palynology* 107, 97–107.
- Rees, P.M. & Cleal, C.J. 2004: Lower Jurassic floras from Hope Bay and Botany Bay, Antarctica. *Special Papers in Palaeontology* 72, 1–90.
- Ryberg, P. E., & Taylor, E.L. 2007: Silicified wood from the Permian and Triassic of Antarctica: tree rings from polar paleolatitudes, in Antarctica: A Keystone in a Changing World – Online Proceedings of the 10th ISAES, edited by A. K. Cooper and C. R. Raymond et al., *USGS Open- File Report 2007–1047, Short Research Paper 080*, 1–5.
- Webb, P.N. & Harwood, D.M. 1991: Late Cenozoic glacial history of the Ross Embayment, Antarctica. *Quaternary-Science-Reviews* 10(2–3), 215–223.
- Ziegler, A.M. 1990: Phytogeographic patterns and continental configurations during the Permian Period. In: McKerrow, W.S. & Scotese, C.R. (eds.): *Paleozoic Palaeogeography and Biogeography*. Geological Society Memoir 12, 363–379.

Geologiskt forums stödprenumeranter 2008

(Läs om vår nyaste stödprenumerant på sidan 32.)



Emmaboda Granit

Emmaboda Granit AB är ett av Sveriges och Skandinavians ledande stenföretag med 100 års erfarenhet inom blocksten, stenprodukter och gravvårdar.
www.emmabodagranit.se

GEOSIGMA

MARK BERG VATTEN

Anlita Geosigmas nyfikna, engagerade och jordnära konsulter! Geosigma erbjuder konsulttjänster och vägleder alla som i sin verksamhet planerar och bygger morgondagens samhälle.
www.geosigma.se



Föreningen för Geologins Dag.
www.geologinsdag.nu

URS

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



GeoPro

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

NEW BOLIDEN

Boliden producerar metaller som får det moderna samhället att fungera.
www.boliden.se



Svensk Kärnbränslehantering AB

SKB:s uppdrag är att ta hand om det radioaktiva avfallet från de svenska kärnkraftverken. Varken människa eller miljö ska påverkas negativt – i dag eller i framtiden.

Webbplats: www.skb.se

3 september. Framsteg i arbetet med förvaltningen av Österjön. Nordiska ministerrådet och svenska Naturvårdsverket bjuder in till en internationell konferens om hur arbetet med att förvalta Östersjön kan stödjas och förbättras. Plats: Visby. Mer att läsa på www.naturvardsverket.se

13 september Geologins Dag. Arrangemang i hela landet. Mer att läsa på www.geologinsdag.nu

21 – 23 oktober Euro Mine Expo, Skellefteå. Världens ledande inom gruvindustrin samlas vartannat år och nu är det dags igen! www.euromineexpo.com

15 – 19 december AGU Fall Meeting, San Francisco, 15 000 geovetare, framför allt geofysiker, från hela världen. www.agu.org

13 januari 2008 – 15 januari 2008 21:e Nordiska geologiska vintermötet går av stapeln i Bergen, Norge. Klicka på länk via Norges Geologiska Förenings hemsida www.geologi.no

GFF tar hjälp av Taylor & Francis

Under de senaste åren har GFF, Geologiska Föreningens 136-åriga flaggskepp, genomgått många förändringar – och fler är på gång!

Nätversionen av GFF har funnits i snart fyra år och har över 1 100 registrerade användare. Glädjande är att i år har

många universitet och bibliotek börjat använda GFF digitalt. Det betyder att flera tusen forskare runt om i världen nu har tillgång till GFF. Manuskripthanteringen kan numera även göras helt digitalt.

Efter 14 år har GFF också bytt bort sin beiga kostym och fått ett helt nytt utseende. Det mest omvälvande är dock att från och med nästa år samarbetar vi med det anrika Oxfordbaserade tidskriftsförlaget Taylor & Francis. Geologiska Föreningen är fortfarande ägare och ansvarig utgivare, men med Taylor & Francis kommer vi att få en professionell partner som ansvarar för layout, tryckning, distribution och marknadsföring. Tidskriften kommer även att bli än mer tillgänglig på nätet. Så, välkomna alla läsare, prenumeranter och författare till en spännande framtid med GFF!

/Joakim Mansfeldt, redaktör för GFF

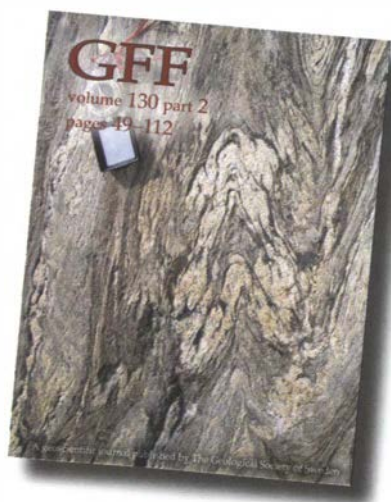
GFF är Geologiska Föreningens flaggskepp och vetenskapliga tidskrift. I år tar Taylor & Francis över layout, tryckning, distribution och marknadsföring – ambitionen är att göra GFF ännu bättre och tillgänglig för fler forskare.

★ Ett nytt ansikte mot världen för Oslo. Det nybyggda operahuset i Oslo är ritat av arkitektkontoret Snøhetta. Byggnaden är bländande vit och på utsidan flyter entré, väggar och tak ihop i en enhet. Det är möjligt att gå på skrå, ovan och utmed väggarna, upp på taket. Operahuset, som invigdes i våras, är byggt av vit marmor från Carrara i Italien. Närmast vattnet ligger grön granit från Norge. Totalt har 36 000 plattor använts och kostnaden för hela projektet var nära fyra miljarder norska kronor. Sedan invigningen har bygget uppmärksammats bland annat för att den italienska marmorn, som egentligen är snövit, börjat att gulna. Oavsett är operahuset unikt utformat och läget mycket vackert. Operahuset är helt klart värt ett besök i sig självt – med eller utan opera!



Man kan gå utmed väggarna och upp på taket. Det nya operahuset i Oslo sett från dess baksida, det vill säga öster. Foto: 33 IGC.

★ På Frans Josef Glacier på Nya Zeelands sydö har svenska studenter bland annat karterat förändringar i glaciärens struktur. Frans Josef-glaciären är mycket speciell då den fylls på med 18 meter snö varje år. Orsaken är det unika läget utmed Tasmanhavet där bergen tvingar upp moln på hög höjd. Som en följd av den snabba tillväxten rör sig glaciären oerhört fort. Anders Fridfeldt kom tvåa i Forskning & Framstegs bildtävling tidigare i år med ett foto från en isälvtunnel i glaciären.



Isbjörnar en het fråga på Island

I juni 2008 strandade två isbjörnar på Island. Att isbjörnar förrirrar sig till Island är inte helt ovanligt.

Sedan år 874, då Island koloniserades av vikingarna, har cirka 500 isbjörnar kommit. Dock är Islandsbesök inte hälsosamma för isbjörnarna, alla som kommit har hittills blivit dödade. De oftast mycket hungriga björnarna har i några enstaka fall hunnit döda människor. Vissa områden får oftare besök av isbjörn än andra och det har lämnat spår efter sig i geografiska namn som fjorden Húnaflói och sjön Húnavatn, där "Húna" betyder ung björn. Kommunen Húnavatnssýsla på norra Island har en isbjörn i sitt vapen.

Isbjörnarnas främsta diet är sälär som de jagar från havsisen och de har inte något naturligt hemvist på Island. Björnarna kommer endast då och då till landet. Det är främst under juni månad som de kommer, när havsisen bryts upp längs Grönlands östkust. Björnar med otur driver då ut till havs – mot Island. Det finns ett samband mellan hur sträng vintern är, hur långt ut havsisen sträcker sig och hur många björnar som kommer på drift. Ju mera havsis desto flera björnar. Rekordet hittills sattes vintern 1880–1881 då 63 individer kom iland. Även vintern 1917–1918 var sträng, då strandade 27 björnar.

Senaste gången före innevarandes sommar som en isbjörn siktades vid Island var 1993 då fiskare stötte på en simmande björn 40-50 sjömil norr om Island. Fiskarna drog den levande björnen ombord och hängde den; ett ytterst riskabelt och plågsamt (för björnen) sätt att avliva djuret. Händelsen gav upphov till stora rubriker och man vände sig mot hur björnen hade avlivats. Resultatet blev en lag som skyddar isbjörnar på land, i havet och på is. Lagen säger att man ska

försöka söva djuret och transportera björnen till dess hemmiljö. Endast om björnen utgör en fara får den avlivas. Att söva en isbjörn kräver folk som kan bedöma vilken mängd av bedövningsmedel som behövs och skyttar som kan operera från en helikopter. Sedan, när björnen är nedsövd, ska den förpackas och transporteras bort.

Den första av årets isbjörnar kom iland på Skagi på norra Island den 3 juni. Det var en fullvuxen hanne på 216 kilo. Dess besök på Island inskränkte sig till några timmar och under denna tid följdes isbjörnens rörelser av polisen och av direktör Þorsteinn Sæmundsson vid naturforskningscentret på nordvästra Island.

Den strandade isbjörnen väckte massmedias intresse och ett flertal journalister, fotografer och nyfikna omgav snabbt björnen. Situationen blev genast ohållbar då framför allt fotografer gick endast 20-25 meter från björnen. En isbjörn kan röra sig extremt snabbt så folk utsatte sig själva för en stor risk. Situationen komplicerades ytterligare av att dimma började rulla in och att björnen började gå i riktning mot bebodda trakter. Þorsteinn Sæmundsson var hela tiden i kontakt med miljöministern, när det blev kritiskt gavs order om att fälla björnen.

Avlivningen väckte starka känslor och ledde till en intensiv debatt – skulle man inte ha försökt att söva björnen och deporterat den i enlighet med lagen?

Den 16 juni kom ytterligare en björn iland, mycket nära den plats dit årets första björn kommit. Det var en flicka från gården Hraun II som var ute med sin hund som stötte på björnen i gårdens ejderkoloni (att samla in ejderdun är en viktig inkomstkälla). Där hade den totalt utmattade björnen kollapsat. Eftersom björnen höll sig på samma ställe fanns det förutsättningar att försöka rädda den. Man tog kontakt med en zoolog i Köpenhamn, som gav sig iväg mot Island och en björnbur transporterades till området. Polis vaktade björnen hela natten tills zoologen kom fram nästa dag. När teamet som skulle söva björnen kom nära blev dock björnen nervös och den försökte att fly till havs. Teamet valde då att avstå bedövningen. Om björnen skulle hunnit ut i havet innan bedövningsmedlet verkat skulle den riskerat att drunkna. Man ville också undvika att björnen skulle simma bort och gå iland någon annanstans. Så myndigheterna tog beslutet att istället avliva även denna björn.

Slutsatsen efter årets händelser är att om det ska gå att söva och deportera de björnar som simmar i land måste man ha kunnigt folk tillgängligt direkt för att ta hand om djuret. Nu finns det en ny arbetsgrupp på Island som ska ta fram en plan hur Island ska hantera framtida björnbesök. Planen kan vara klar så snart som i september 2008.

/ Erik Sturkell och Gabrielle Stockmann.

Isbjörn på Island. Två fotografer har dumdristigt gått alldeles för nära björnen och befinner sig i en farlig situation. Foto: Þorsteinn Sæmundsson



4 anledningar till mer geologi i skolan!

Många vill ha mer geologiundervisning i skolan. Fyra sammanfallande omständigheter gör att det är ett bra läge för att driva igenom en sådan förändring – NU! Detta är vad jag iakttagit som projektledare för Geologins Dag:

Anledning no.1. Lärare välkomnar en ökad satsning på geologi i skolan. Lärare som redan vet att ämnet är viktigt har svårt att vinna striden om utrymmet i skolschemat. I år har Geologins Dag lanserat en satsning på hjälpmedel till läraren för att fira Geologins Dag i klassrummet. Men en inspirerande film, praktiska övningar och en gåva till varje elev kan Geologins Dag ge läraren en möjlighet att introducera geologin i skolan på ett annorlunda och övertygande sätt. Bara två dygn efter att jag marknadsfört erbjudandet till lärarna var min e-postlåda fylld av deras anmälningar. I skrivande stund har jag över 300 lärare med totalt 12 000 elever anmällda. I alla åldrar och från hela Sverige. Jag konstaterar att ämnet geologi är efterfrågat i skolan och förklarar dessutom succén med Geologins Dag i klassrummet med att förslaget är gratis för läraren och färdigt att använda – tid och pengar har skolan ont om.

Anledning no.2. Kungen säger det. Den 26 maj i år invigde Hans Majestät Konungen den sven-

ska delen av The International Year of Planet Earth, även kallat Geologins år i Sverige. En bit in i invigningstalet fick vi höra detta ovanligt konkreta uttalande från kungahuset:

”Tyvärr kommer vi aldrig undan naturkatastrofer som jordbävningar, stormar, översvämningar och skred. Naturens krafter kan vi inte påverka. Men vi kan förbättra vår beredskap att möta dessa krafter genom att öka vår kännedom om den naturliga miljön, om jorden och berggrunden. Det gör vi enklast genom att lyssna till alla dem som kan något på området. Vi måste börja tidigt; redan i skolan skall våra barn kunna få en geologisk grundsyn, som är till hjälp för förståelsen av såväl miljön i allmänhet som klimatfrågan i synnerhet. Det är vi helt enkelt skyldiga både dem och Moder Jord.”

Anledning no.3. Naturkatastrofer och Jordens försämrade hälsa gör sig allt oftare påmind. Geologisk kunskap skapar insikt om att även jag kan påverka Jordens utveckling. Miljöproblem löses inte av dem som bestämmer – utan om alla hjälps åt. Geologi i skolan bidrar till ett kollektivt miljötänkande.

Anledning no.4. Arbetsmarknadens efterfrågan på geologer är större än på länge och de höga mineralpris-

erna förutspås fortsätta öka i många år framöver. En sådan trygghet är viktig när ungdomar väljer utbildning idag.

Slutsats: Du som har möjlighet att verka för mer geologi i skolan – NU är det upplagt för smasch! Grip tillfället och lägg in din stöt nu! Antingen du är beslutsfattare, lärare eller geologikunnig, så bidrar du på ditt sätt till en geologisk grundsyn i samhället.

/ Martin Testorf, Projektledare för Geologins Dag



Kungen säger det, lärarna efterfrågar det, barnen vill det – mer geologi i skolan NU!

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 15 okt. Nästa nummer av tidningen kommer ut i december 2008. Kontakta redaktör Anna Kim-Andersson, tel 036-440 01 20, anna@qi-media.se

GEOLOGICITÄT

Från norske utbildnings- och forskningsministern Tora Åslands tal vid invigningen av 33:e internationella geologkongressen i Oslo, augusti 2008:

"The American poet and philosopher Ralph Waldo Emerson said: "We learn geology the morning after the earthquake". Let us hope that this congress will contribute to making the quote less relevant in its literal meaning, by contributing to increased use of Earth Sciences to meet the challenges the Earth confronts us with, and with more knowledge to be prepared to protect our source of life."

BLI STÖDPRENUMERANT

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

STÖDPRENUMERANT

Geologiskt forums nyaste stödprenumerant hälsas välkommen (se även sidan 28):



MMT AB
Marin Mätteknik AB



KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



IVA
KUNGL. INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
Royal Swedish Academy of Engineering Sciences

BERG * JORD * LUFT * VATTEN

Lördag 13/9 2008
Massor av roliga aktiviteter för alla åldrar från Falsterbo i söder till Kiruna i norr.



Prova-på-övningar
Utställningar
Vulkaner
Mineral
Film
Föreläsningar
Tipsrundor
Guldvaskning
Ta med din sten

Hitta evenemang nära dig:
www.geologinsdag.nu



Naturhistoriska riksmuseet



Svensk Kärnbränslehantering AB



Sveriges geologiska undersökning

Marin Mätteknik AB utför kartläggning med hög detaljrikedom i hav och sjömiljö.

Vi erbjuder ett brett utbud av geologiska, geofysiska och batymetriska tjänster.

Mer att läsa på: www.mmtab.se