

GEOLOGISKT FORUM

Nr 108 ♦ 2020

Försvinnande palsmyrar

Fossilt bajs

Koldioxidfrågans lösning

Prisutdelningar



GEOLOGISKT FORUM

Nr 108 ♦ 2020

ISSN 1104-4721

Ansvarig utgivare: Pär Weihed

Redaktör:

Jeanette Bergman Weihed
tel. 070-3724828
e-post: jeanette@tellurit.se
För text, layout och bilder svarar redaktören där inget annat anges.

Redaktionens adress:

Geologiska Föreningen
c/o Tellurit AB,
Storgatan 11,
972 38 Luleå
e-post: info@geologiskaforeningen.se

Omslagsbild: Studenter på fältkursen *Subarktis – naturgeografi och ekologi* i arbete på kupolpals i Vissátvuopmi i september 2018. Bilden är spegelvänd. Foto: Heather Reese. Läs mer om palsar på sidan 4.

Upplaga: 500 ex.

Tryckeri: Elanders Sverige.

Ordinarie lösnummerpris: 75 kr.

För annonser, distribution, prenumerationsärenden, adressändring, köp av tidigare nummer samt reklamationer: kontakta redaktionen.

För dig som är medlem i Geologiska Föreningen ingår tidningen i det ordinarie medlemskapet. Som medlem har du också tillgång till tidningen som pdf samt ett digitalt arkiv. Man kan också lösa en årsprenumeration av tidningen. Läs mer på vår webbplats.

Ange namn, adress och e-postadress vid betalning till vårt Plusgiro 2108-9. Du kan också betala direkt med kort på vår webbplats www.geologiskaforeningen.se

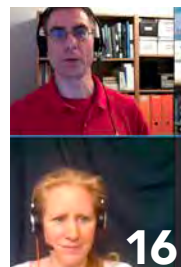
Tidningen publicerar sedan starten år 1994 populärvetenskapliga artiklar inom geovetenskapens alla områden.

Välkommen att kontakta redaktören om du vill medverka i Geologiskt forum. Författarna svarar själva för innehållet i sina artiklar. Nästa nummer av Geologiskt forum kommer i mars 2021.

Geologiska Föreningen

I DETTA NUMMER

- 3 Vi härdar ut...
- 3 Stipendium till Schmitz för spridning av forskning
- 3 Zinkgruvanit – ett helt nytt mineral
- 4 Vissátvuopmi palsmyr – en naturtyp på väg att försvinna
- 12 Fossilt bajs – Eller vem åt vem för miljontals år sedan?
- 16 Prisutdelningar och FoU-dag
- 18 Årsmöte och ny styrelse för 2021
- 19 Opålitligt urberg
- 20 Recension: Nyfiken på geologi
- 22 Från gas till mineral – framtidens fasta lösning på koldioxidfrågan
- 28 Minnesord: Bengt Loberg
- 30 Ny kurs i tillämpad fältprospektering
- 31 Tack och hej!
- 31 Besök Sickla gruva virtuell
- 31 Film visar geologi längs Förbifart Stockholm



Vi härdar ut...

Just när vi trodde att vi skulle kunna återgå till ett mer normalt samhälle tog smittspridningen fart igen. Vi är nog många som blev väldigt besvikna över det. Men det är bara att gilla läget och härda ut. Tids nog kommer det att bli bättre.

Vi hade förhoppningar om att kunna hålla ett fysiskt årsmöte i Uppsala i november, men de planerna gick om intet. Ett årsmöte hölls i alla fall, i digital form. I efterhand kan man konstatera att detta digitala årsmöte hade fler deltagare än vanligt.

Kanske skulle man överväga att även fortsättningsvis göra på detta sätt. Kanske går det att kombinera fysiska och digitala möten. Så den fysiska distansen vi

tingats hålla under detta år kan få en del positiva följder trots allt.

På årsmötet valdes en ny ordförande för föreningen, Emma Rehnström, tillika Årets geolog 2020 (läs mer i Geologiskt forum Nr 107). Emma tillträder vid årsskiftet och i nästa nummer kommer hon att berätta lite om hur hon ser på föreningens framtid och vad hon vill jobba för.

Två nya styrelseledamöter valdes också in: Nils Jansson och Jenny Andersson. De presenteras i detta nummer. Samtidigt vill jag passa på att rikta ett tack till de avgående styrelseledamöterna Gry Møl Mortensen och Jaana Vuorinen.

Samma dag som årsmötet hölls också ett digi-

talt heldagsseminarium med prisutdelningar och presentation av forskningsresultat tillsammans med Sveriges geologiska undersökning och Geosektionen vid Naturvetarna. Seminariet var mycket välbesökt och kanske kan vi fortsätta med liknande samarbeten framöver.

I detta nummer får vi också läsa om palsmyrar som riskerar att försvinna på grund av klimatförändringar, och vad studier av fossilt bajs kan säga om vad tidigare levande djur kan ha ätit. Dessutom får vi ta del av en säker metod för att binda koldioxid djupt nere i marken. Kanske kan denna metod bidra till att palsmyrarna bevaras i framtiden?

Den fasta sektionen "På gång" har fått stryka på foten i detta nummer. Det är helt enkelt inte så väldigt mycket på gång just nu.

I stället får ni läsa en hälsning från avgående ordförande Pär.

Med förhoppning om en ljusning framöver vill jag önska alla läsare en god jul och ett gott nytt år!

Jeanette Bergman Weihed, redaktör



Stipendium till Schmitz för spridning av forskning

Birger Schmitz, professor i geologi i Lund, har tilldelats ett av Natur & Kulturs populärvetenskapliga arbetsstipendier på 100 000 kronor

för att förmedla forskningsresultat till en bred publik. Hans plan är att i en bok ge en personlig skildring av forskningen om dinosauriernas död genom ett asteroidnedslag för 66 miljoner år sedan. Boken kommer att handla om att katastrofer varit nödvändiga inslag i livets historia och frågan ställs om vi kommit hit av en slump. Utan nedslaget skulle inte däggdjuret människan dominera det högre livet på jorden idag. ♦

Källa: Lunds universitet.



FOTO: ANNIKA PERSSON.

Zinkgruvanit – ett helt nytt mineral

När Luleå tekniska universitets forskare Nils Jansson var i Zinkgruvan 2015 fick han med sig en borrhäls hem. I denna hittade han baryt, vilket var vad han från början var på jakt efter för att göra en svavelisotopstudie. Men i kärnan fanns också andra mineral som han inte kunde indentifiera.

– I mikroskop såg jag ett väldigt vackert mineral, med färgskiftningar från rött till gult, men det fanns inget tidigare känt som passade in på just detta mineral. Det var lite frustrerande. Jag gick och grubblade på vad det kunde vara, berättar Nils.

Han tog hjälp av kollegor på Naturhistoriska riksmuseet och Sveriges geologiska undersökning, och tillsammans började de ana att det kunde röra sig om ett helt nytt mineral.

Sedan dess har det varit en lång process med provtagningar och

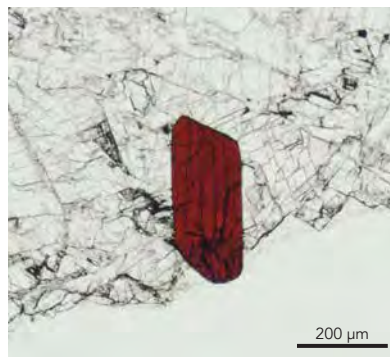


FOTO: NILS JANSSON, LTU.

analyser för att bestämma den kemiska sammansättningen och kristallstrukturen. I juli i år blev mineralet godkänt av International Mineralogical Association, med namn efter fyndplatsen. Zinkgruvanit har sammansättningen $\text{Ba}_4\text{Mn}_4\text{Fe}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{SO}_4)_2\text{O}_2(\text{OH})_2$.

– Det är lite av en barndomsdröm för en geolog. Det är också en bra påminnelse om att det fortfarande finns mycket nytt att upptäcka i naturen, säger Nils Jansson. ♦

Källa: LTU.



FOTO: MATS OLVMO.

Vissátvuopmi palsmyr – en naturtyp på väg att försvinna

Det förändrade klimatet i Norden får konsekvenser för naturen på många sätt. En naturtyp som påverkas är palsmyrarna som finns i nordligaste Sverige i områden där permafrost förekommer. En detaljerad studie av dessa palsmyrar visar att de inom en ganska snar framtid kan komma att försvinna.

TEXT OCH BILD: MATS OLVMO, SOFIA THORSSON, HEATHER REESE & BJÖRN HOLMER

I BÖRJAN AV SEPTEMBER när allt fortfarande är grönt i södra Sverige har hösten kommit i Vissátvuopmi i nordligaste delen av landet. Höstens färgpalett präglar landskapet och när man vandrar över myren ser man här och där enstaka hjortron som bleknat av en tidig frostnatt (bild 1).

Tystnaden och ensligheten är närmast total och avbryts bara sporadiskt av snattande änder som fortfarande simmar omkring i någon av de många öppna vattenytorna på myren. Vi har kommit till Sveriges största sammanhängande palsmyrkom-

plex som täcker en yta på närmare 275 hektar.

Hit når man lättast från gården Saarikoski som ligger väl skyddad vid berget Vittankivaaras östra fot. Från gården ser man över till Finland på andra sidan Könkäma älv, vilken utgör gränsen mellan Sverige och Finland sedan 1809.

Saarikoski är en gammal så kallad fjällägenhet och ligger cirka 65 km nordväst om Karesuando (bild 2). Fortsätter man ytterligare 15 km nordväst kommer man till Keino-vuopio som är Sveriges nordligaste by

med bofast befolkning. Vi befinner oss alltså nästan så långt norrut man kan komma i Sverige.

På gården bor Leif och Satu Vilhelmsson och deras labrador. Vill man så kan man inkvartera sig i någon av deras fina stugor på gårdstunet. Från gården är det bara halvan kilometer vandring över berget till palsmyren.

Vad är en pals och var finns de?

Ordet pals är nordfinskt eller samiskt och betyder ”en kulle med en kärna av is som reser sig över myren”. I pal-



Bild 1: Palsmyren i höstfärger. Fjället Sabitoaivi i bakgrunden till vänster.

Bild 2: Utbredningen av sporadisk permafrost i norra Skandinavien till vänster. Vissátvuopmi och de fyra övriga större sammanhängande palsmyrarna i Sverige till höger.



sens kärna är marken frusen flera år i följd, dvs. det råder ständig tjäle eller permafrost. Det finns olika morfologiska typer av palsar (bild 3–5). Vanligast är vidsträckta, meterhöga platåer eller kupolformade, upp till 10 m höga upphöjningar av myrens yta. Ordet pals beskriver således både dess egenskaper och form ganska väl.

Palsar förekommer i regioner med sporadisk permafrost på det norra halvklotet och är starkt knutna till myrmark med torv. I Sverige förekommer palsmyr huvudsakligen i norra delen av Norrbottens län och ingår i ett mer eller mindre sammanhängande utbredningsområde som sträcker sig från norra Norge till Sverige och Finland och vidare österut till Kolahalvön (bild 2).

Torvmarker, lite snö och öppna ytor

Förekomsten av palsar styrs i grund och botten av klimatet. I Sverige förekommer palsar främst i områden som har en årsmedeltemperatur på -2°C till -3°C och en vinternederbörd som understiger 300 mm.

Grundförutsättningen för att palsar ska bildas är att liten snö- och nederbörd i kombination med snödrift skapar snöfria ytor på myren där tjälen kan tränga långt ner i marken

under vintern. Stora flacka och öppna ytor där vinden tillåts omfördela snö under vintern är således en viktig förutsättning för att palsar ska bildas.

Palsar är nära förknippade med torvmarker. Torr torv har stor värmeisolerande förmåga, vilket innebär att den uttorkning av torven som sker under varma och torra vår- och sommarmånader leder till att delar av torven inte tinar.

Detta leder i sin tur till att dessa partier av myren höjs genom att den frusna torven med is "flyter" på den underliggande ofrusna marken. Palsen blir därmed hydrologiskt isolerad från den övriga myren vilket leder till att vegetationen förändras. Om permafrosten når den underliggande mineraljorden bildas islinser (segregations-is) och palsen höjs ytterligare. Genom tillväxt av islinserna kan palsen växa fler meter i höjddled.

Palsens livscykel

Givet att de klimatologiska förutsättningarna är de rätta och någorlunda konstanta över tid har man i tidigare studier antagit att palsar genomgår en livscykel. Denna kan delas in i tre stadier: ett ungt, ett moget och ett gammalt stadium.

I det unga stadiet bildas och tillväxer palsen. I det mogna stadiet har

FJÄLLÄGENHET

Benämningen fjällägenhet går att sammankoppla med tillkomsten av "odlingsgränsen" år 1867. Gränsen var ett sätt att undvika konflikter mellan renskötande samer och nybyggare. Nybyggarna norr om denna gräns tvingades arrendera mark och byggnader, vilka i samband med denna reform övergick i statlig ägo.

palsen nått sin maximala höjd och utbredning. I det gamla stadiet bryts palsen ner för att slutligen kollapsa. Vegetationen används vanligtvis vid en bedömning av i vilket utvecklingsstadium en pals befinner sig.

Mycket unga palsar kännetecknas av en svag upphöjning av myrens yta där kärrvegetation dött på grund av uttorkning. Nästa stadium karaktäriseras av låga palsar med halvgräs. Denna typ av pals har bland annat rapporterats från Vissátvuopmi i den inventering som Länsstyrelsen i Norrbotten gjorde i början av 2010-talet.

Efterhand som palsen höjs och blir torrare börjar lavar och så småningom risvegetation att etablera sig. Palsens mogna stadium kännetecknas av risvegetation där nordkråkbär och odon är typiska arter,



men även dvärgbjörk och lågväxta viden förekommer.

En tydlig indikator på att palsen håller på att bryts ner är sprickbildning och vattenfyllda sänkor (palskar på svenska), framför allt längs palsens kanter (bild 6). Områden där palsen kollapsat och försvunnit helt markeras av runda sjöar (termokarst-sjöar, bild 7), ibland omgivna av ringformade eller långsträckta rester av palsar.

Att palsen har ett cykliskt förlopp är dock inte självklart. När palscykelteorin utvecklades var inte klimatändring något man på allvar diskuterade utan man betraktade klimatet som något relativt stabilt. Visserligen fanns det varmare och kallare år men detta ansågs vara mer eller mindre slumpmässiga pendlingar kring medelvärdet.

Väsentligt för palscykelteorin var förekomsten av embryonala palsar och att palsar i olika stadier förekom-

mer bredvid varandra inom samma område. Detta tolkades som ett kontinuerligt cykliskt förlopp där uppbyggnad och nerbrytning styrdes av palsarnas inre morfologiska egenskaper utan någon egentlig yttre påverkan.

Om man i stället tar som utgångspunkt att klimatet ständigt varierar såväl på kort som på lång sikt kan man se palsarnas uppbyggnad och nedbrytning på ett annat sätt: Kallare och nederbördsfattiga år eller perioder leder till nybildning och tillväxt medan varmare och nederbördsrika år eller perioder leder till nedbrytning och kollaps.

Det innebär att en pals kan bildas under något eller några kalla och nederbördsfattiga år, men för att palsen ska kunna växa och bli stor måste det vara kallt och nederbördsfattigt under en längre period. Övergången från unga eller mogna palsar till gamla och kollapsade palsar är inte nödvändigtvis ett bevis för ett

ÅLDERSBESTÄMMNING

När en pals höjs över myrens yta övergår den från kärr till mosse. Genom att med kol-14-metoden åldersbestämma torven både alldeles ovanför och alldeles under denna gräns kan man få en ungefärlig ålder på när palsen började bildas.

cykliskt förlopp utan kan i stället förklaras med variationer i klimatet.

Palsarna inte så gamla

Åldersbestämningar av palsar visar att de flesta nu existerande palsarna i norra Skandinavien troligtvis bildades åren 1550–1650 och omkring 1800. Observationer av isläggning i Stockholm och studier av årsringar på träd visar att det under dessa perioder rådde kallt klimat i området, även om mellanliggande varmare perioder förekom.

Motstående sida: Drönbilder över Vissátvuopmi med olika typer av palsar: palsplatå (**bild 3**), ås- eller ryggpals (**bild 4**) och kupolpals (**bild 5**). Vid de röda prickarna finns personer, som skala. **Bild 6** visar tydlig sprickbildning i kanten på en pals. Pilen pekar på en "träningskon" med diameter 20 cm. Foton: Heather Reese och Mats Olvmo.

Bild 7: Liten termokarstsjö på palsplatå.

Bild 8: Bild från drönare som visar blockerosion på östsidan av åspals. Fotograf Mats Olvmo som skala.

Några av de palsar som bildades under de kalla perioderna har troligtvis kollapsat under varmare perioder, vilket borde kunna bevisas av dateringar av sediment i termokarstsjöarna. Sedan mitten av 1900-talet finns få observationer av nybildning av palsar. Det innebär förvisso inte att små palsar inte har kunnat bildas under kalla och snöfattiga år och sedan försvunnit under efterföljande varmare och mer nederbördsrika år.

Varför bryts palsen ner?

Palsar bryts ner dels genom att palsen minskar i yta till följd av att kanterna kollapsar, dels genom att palsen sjunker ihop när permafrosten smälter och blir allt tunnare. Palsar som växer på höjden uppvisar ofta sprickbildning, vilket beror på att torvlagret utsätts för töjning. Sprickbildningen är oftast mest påtaglig längs branta kanter där vertikala sprickor leder till blockerosion av palsen (bild 8). Nedbrytningen kan förstärkas av nya sprickor som under töpperioder kan bildas genom släntskred i kanterna.

Höga palsar utsätts även för vinderosion, speciellt vintertid då toppen på palsen ofta är kalblåst. Erosion av torven påverkar möjligheten till isolering under sommaren. Vinderosion anses kunna leda till kollaps av palsöverytor till följd av att den frusna kärnan smälter. Detta har kunnat påvisas i andra studier i Sverige och anses ha skett under det senaste decenniet.

En annan direkt effekt av att palsen höjs är att snö ansamlas på palsarnas sidor under vintern. När denna snö sedan smälter samlas



FOTO: MATS OLVMO.



FOTO: MATS OLVMO.

smältvatten på dessa platser, vilket leder till att permafrosten tinar.

Palsarna i Fennoskandia

Ett flertal studier visar att utbredningen av palsar i Sverige, Norge och Finland har minskat kraftigt under de senaste decennierna till följd av att klimatet i subarktis förändras i en allt snabbare takt. Nedbrytningen är på sina håll så snabb att man kan se förändringar mellan enskilda år.

När permafrosten tinar och palsen bryts ner leder det till ökade utsläpp av växthusgaserna metan och lustgas och att palsmyren blir blötare. Det senare får som konsekvens att myrens växt- och djurliv förändras och att framkomligheten för människor och betande renar försämras.

Palsmyrarna anses idag utgöra en av de mest känsliga naturtyperna

inom EU och har därför utpekats som en prioriterad naturtyp inom EU:s habitatdirektiv. Utvecklingen av palsmyrar övervakas i Sverige av Naturvårdsverket och länsstyrelserna.

Palsarna i Vissátvuopmi

Med hjälp av flygbilder från åren 1955, 1963, 1994, 2010 och 2016 har vi kartlagt förändringar av palsarnas utbredning inom ett drygt 75 hektar stort område i Vissátvuopmi (bild 9). Inom studieområdet förekommer främst palsplatåer, men det finns även en kupolpals och en ryggformad pals (åspals).

Kartläggningen visar att ingen nybildning av palsar har skett i området utan att palsarna kontinuerligt brutits ned sedan mitten av 1950-talet. Palsplatåerna har minskat i yta från 69,5 hektar till 48,8 hektar

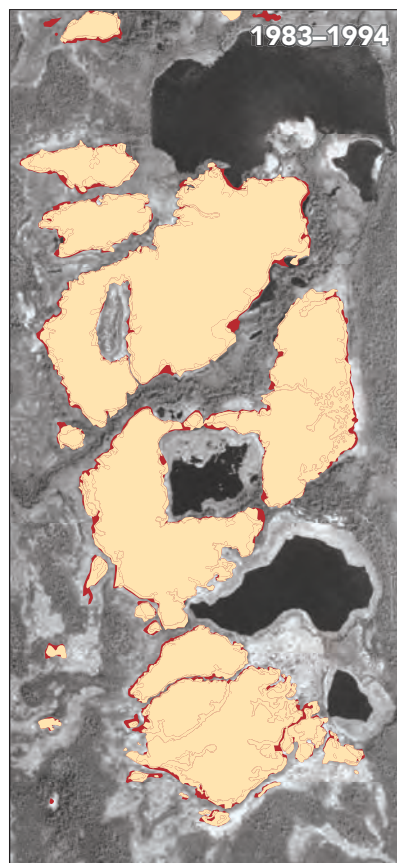
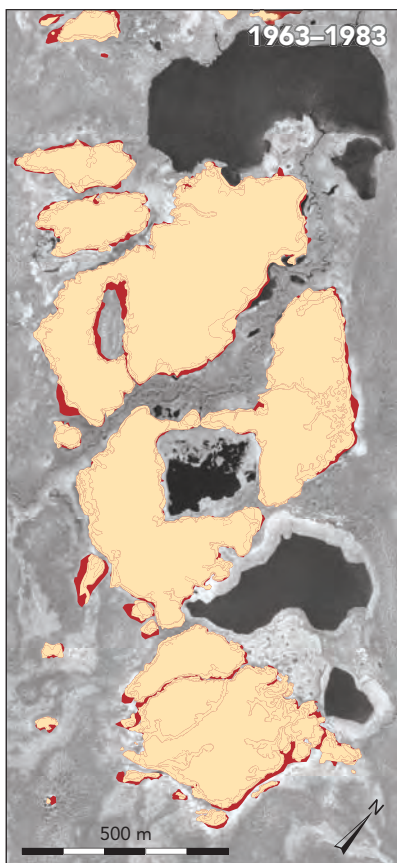
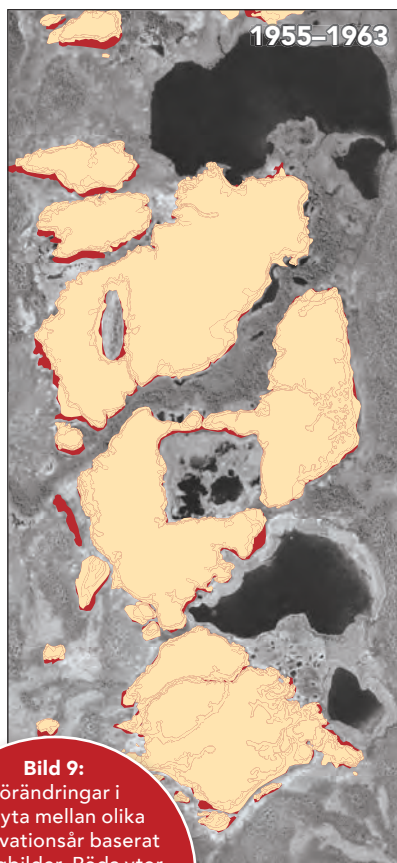
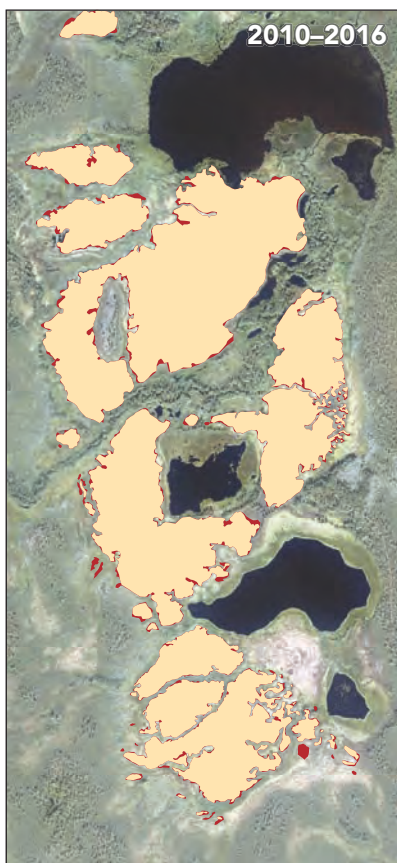
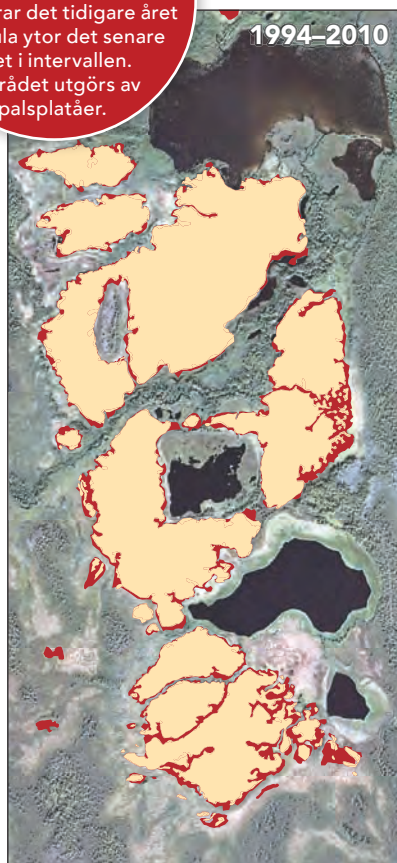


Bild 9:
Förändringar i
palsyta mellan olika
observationsår baserat
på flygbilder. Röda ytor
motsvarar det tidigare året
och gula ytor det senare
året i intervallen.
Området utgörs av
palsplatåer.



mellan 1995 och 2016, vilket innebär en genomsnittlig minskning med 30 procent och en genomsnittlig årlig nedbrytningshastighet på -0,58 procent per år (bild 10).

Den årliga minskningen har varierat betydligt mellan observationsperioderna. Den lägsta genomsnittliga årliga nedbrytningen förekom mellan 1955 och 1983 (-0,29 procent per år) och den högsta mellan 1994 och 2010 (-0,88 procent per år). Mellan 2010 och 2016 var nedbrytningshastigheten -0,83 procent per år.

Detta innebär att takten på nedbrytningen har ökat från mitten av 1950-talet och fram till 2010 för att därefter fram till 2016 vara fortsatt hög. Jämfört med de tre första decennierna (1955 till 1994) har den årliga nedbrytningstakten fördubblats under de senaste två decennierna (1994 till 2016).

Nedbrytningen av kupolpalsen och den åsformade palsen är större än för palsplatåerna. Kupolpalsens och åspalsens yta har minskat med 35 procent respektive 54 procent mellan 1955 och 2016, vilket motsvarar en genomsnittlig årlig nedbrytningshastighet på 0,71 procent per år respektive 1,25 procent per år. Detta tyder på att palsens morfologi påverkar hur snabbt den bryts ner.

Förändrat klimat i Vissátvuopmi

För att studera hur klimatet förändrats från 1955 och framåt använde vi oss av nederbörds- och lufttemperaturdata från SMHI:s station i Karesuando. Stationen grundades 1879 och ligger ca 65 km sydost om Saarikoski.

Eftersom Saarikoski är beläget högre över havet än Karesuando korrigerades temperaturdata för detta med hjälp av temperaturdata från SMHI:s station i Naimakka. Nederbördsdata användes utan korrigeringar.

Vad visade då analysen? Jo, vi kan se att under perioden 1955–1994 var förändringarna i lufttemperatur små, medan den årliga lufttemperaturen under perioden 1994–2016 ökade med omkring 2 °C. Särskilt märkbar var förändringen under våren (mars–maj) och hösten (september–november).

En konsekvens av den ökade lufttemperaturen är att antalet tödagar (antal dagar över 0 °C) ökade med 19 dagar sedan 1994. Vidare ökade frost- och tösommen (den ackumulerade dagliga temperaturen under respektive över 0 °C).

Vad beträffar nederbörden så ökade sommarnederbörden med drygt 50 mm. Sammanfattningsvis har värmebalansen förändrats mot en varmare, längre och fuktigare tösäsong, vilket resulterat i en ökad värmetransport och uppvärmning eller tining av permafrosten. Även vintern har blivit varmare och fuktigare, vilket resulterat i en ökad snömängd och därmed ökad isolering mot kylans nedträngning under vintern.

Klimatfaktorernas inflytande

Samspelet mellan klimatet och palsarnas uppbyggnad och nedbrytning är komplex och styrs av olika klimatfaktorer. Vi har använt oss av statistiska metoder (regressionsanalys) för

att analysera vikten av olika klimatfaktorer på nedbrytningshastigheten av de palsar som kartlagts i området.

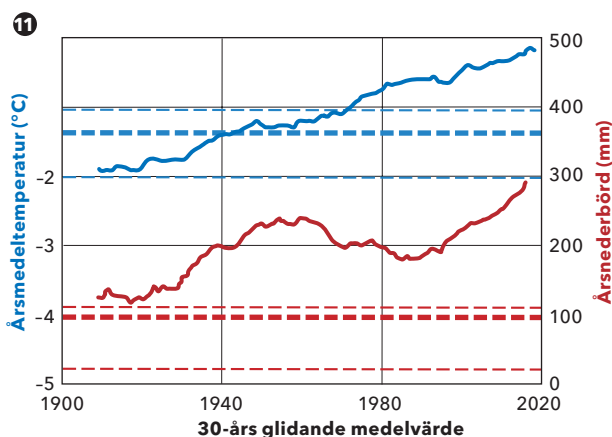
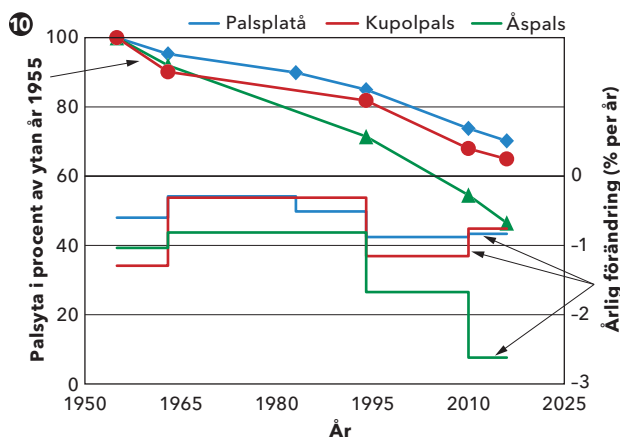
De faktorer som har starkast samband med nedbrytningen är nederbörd under vintern (december–februari), följt av frostsumma och lufttemperatur under vintern. Detta tyder på att våtare, varmare och kortare vintrar är huvudorsaken till den laterala minskning av palsarna som skett under de senaste 60 åren. Dock påverkar även sommarförhållandena (ökad lufttemperatur och nederbörd) förändringen i palsutbredningen.

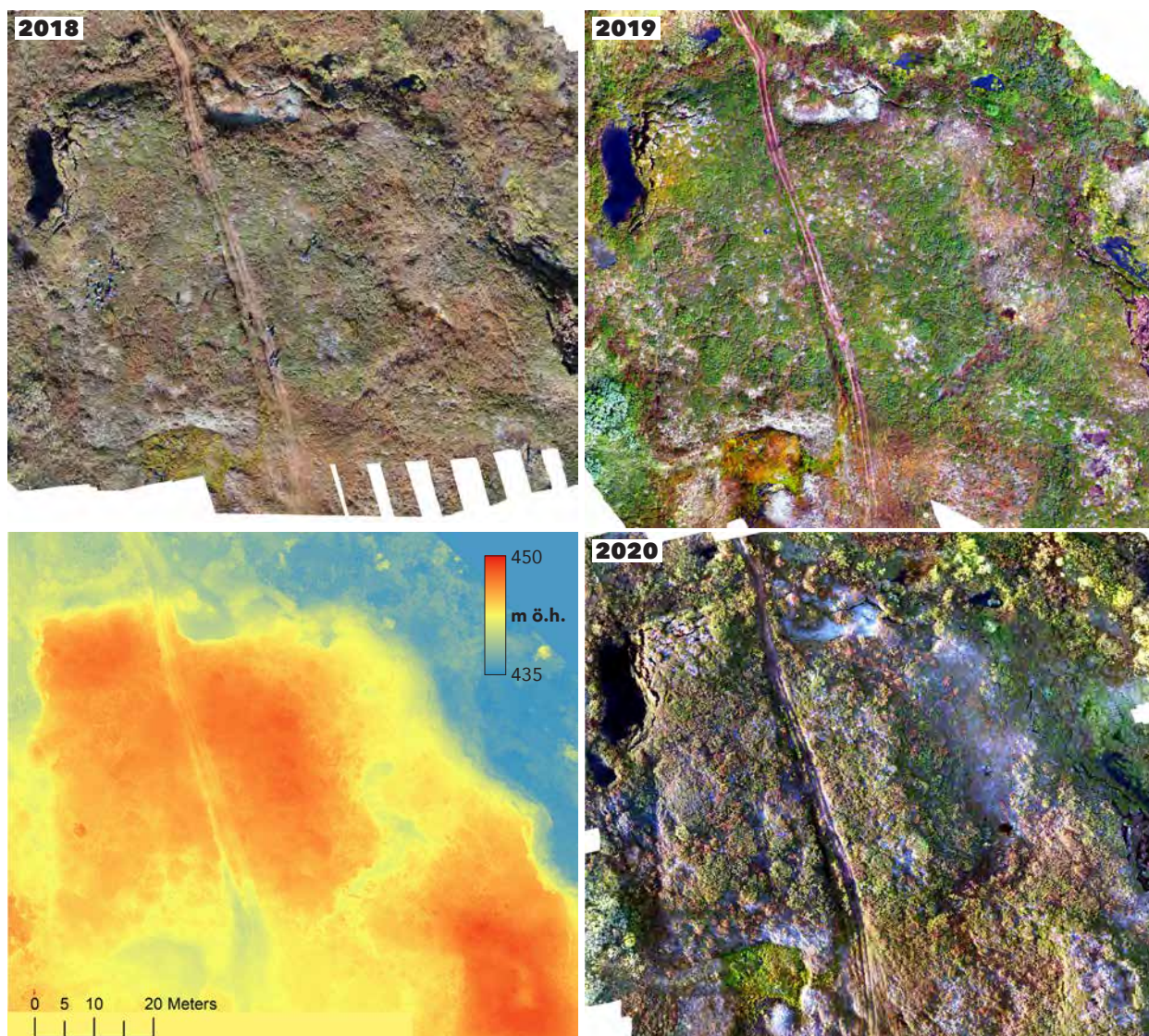
Klimatologiska gränsvärden

I tidigare studier har ofta årsmedeltemperatur och årsnederbörd angetts som "klimatologiska gränsvärden", dvs. den årsmedeltemperatur och årsnederbörd som krävs för att palsen ska vara i balans (lika stor tillväxt som nedbrytning). Vår modell visar att gränsvärdena i Vissátvuopmi är -4,0 °C för årsmedeltemperatur och

Bild 10: Procentuell förändring av palsyta jämfört med 1995 och årlig förändringshastighet under olika observationsperioder för de studerade palsområdena i Vissátvuopmi.

Bild 11: Gränsvärden jämfört med årlig lufttemperatur (blått) och nederbörd (rött) sedan 1880 (30 års glidande medelvärde). Tjock streckad linje är jämviktspunkten baserat på alla fem observationsintervall. Tunn streckad linje är intervallet av jämviktspunkter enligt korsvalidering. Lufttemperaturen är från Karesuandodata som höjddjusterats till studieområdet medan nederbörden är ojusterade data från Karesuando.





363 mm för årsnederbörd. Dessa gränsvärden är ca 1 °C lägre respektive 60 mm högre jämfört med tidigare studier, vilket kan förklaras av att man i dessa studier antagit att palsarna var i balans med rådande klimat vilket visat sig inte vara fallet.

Genom att studera gränsvärdena för olika tidpunkter, kan vi se att under 1987–2016 har både temperatur- och nederbördsförhållandena varit ogynnsamma för palsen. Faktum är att alla undersökta klimatvariabler förutom antalet frostdagar uppvisar stora avvikelser från gränsvärdena de senaste decennierna, vilket kan förklara den snabba nedbrytningshastigheten och minskningen i palsutbredning.

Förutsättningarna under det senaste århundradet

Temperatur- och nederbördsdata från Karesuando från 1880-talet och framåt har använts för att analysera hur förutsättningarna för palsarna i Vissátvuopmi har förändrats under de senaste 120–130 åren (bild 11).

Om vi tittar på årsmedeltemperaturen så har den ökat med ca 1,8 °C sedan 1880-talet, och sedan början av 1900-talet har den ofta varit högre än gränsvärdet för årsmedeltemperaturen (−4.0 °C). Kring sekelskiftet 1900 var temperaturvariationen stor mellan olika år, dvs. det förekom flera år med årsmedeltemperatur både långt under och långt över gränsvärdet.

År med årsmedeltemperatur under gränsvärdet var troligen tillväxtår för palsarna, medan varmare år var nedbrytningsår. Från 1910 och fram till 1960-talet ökade årsmedeltemperaturen. Därefter följde en något kallare period som sträckte sig fram till slutet av 1980-talet. Sedan dess har den genomsnittliga årsmedeltemperaturen ökat snabbt och det förekommer inte längre några år med en årsmedeltemperatur under gränsvärdet.

Sedan 1880-talet har också årsnederbörden ökat. Mellan 1880 och 1920 var år med en årsnederbörd under gränsvärdet på 363 mm vanligt förekommande. Under 1940-talet var trenden att åren blev mer nederbördsrika (högre än gränsvärdet) och

Bild 12: Ortofoton tagna från drönare över kupolpalsen under 2018, 2019 och 2020. Degradering syns längs palsens nordvästra och östra kanter. En stig eller fyrhjulingsspår över palsens mitten syns tydligt i bildernas centrala del. Nere till vänster är en digital höjdmodell av samma kupolpals skapad från överlappande drönarbilder från 2019.

Bild 13: Drönarfotografering är ett enkelt och smidigt sätt att dokumentera förändringar i landskapet med hög bildupplösning och stora möjligheter till återkommande registreringar. Bilden visar palsplatåer i Vissátvuopmi centrala del. Sjön Saivot i förgrunden till vänster.



FOTO: HEATHER REESE.

sedan mitten av 1980-talet har det inte funnits några år då årsnederbörden har legat under gränsvärdet.

Kort sagt har temperaturförhållandena varit ogynnsamma för palsarna i mer än ett sekel, medan nederbördsförhållanden har varit ogynnsamma sedan 1940-talet.

De idag rådande klimatförhållandena innebär således att palsarna bryts ner i området. Om nedbrytningshastigheten fortsätter i samma takt som under de senaste två decennierna förväntas palsarealen i Vissátvuopmi att minska till hälften vid slutet av det här århundradet.

Vad gör vi härnäst?

Givet att den pågående klimattrenden fortsätter är sannolikheten att palsarna fortsätter brytas ner stor och vissa palsar i Vissátvuopmi kan förväntas kollapsa helt under de kommande decennierna.

För att studera dessa förändringar använder vi oss av ny teknik för att studera palsarna i Vissátvuopmi, nämligen fjärranalys med drönare och satelliter. Med drönare kan bilder tas när som helst från luften för att undersöka palsarnas tillstånd och skapa en årlig mätserie (bild 12–13). Dessutom kan tredimensionella modeller skapas för att mäta palsens höjd och därmed kvantifiera den vertikala nedbrytningen (bild 12).

Förutom att studera förändringar i palsarnas yttre form vill vi veta mer om palsarnas inre och här har vi använt oss av markradar som ger bra information om palsens inre strukturer som t.ex. torvens tjocklek

och permafrostens djup. I kombination med markradar, planerar vi att använda oss av Raman-spektroskopi för att bättre förstå dynamiken i isens smältprocesser i palsen. Det är första gången denna teknik appliceras på permafrostjordar. Genom att kombinera dessa tekniker hoppas vi få en bättre förståelse för palsens inre dynamik.

Många inblandade forskare

Det är många forskare med olika kompetens inom geovetenskap som är engagerade i undersökningen av palsar. Klimatologer, geomorfologer, fjärranalytiker, geofysiker och strukturgeologer vid institutionen för geovetenskaper i Göteborg är involverade.

Palskuriosa

Palsar har under årens lopp använts av människor för olika syften. Det berättas att samerna använt palsar till matförvaring, som ett slags naturligt kylskåp.

August Kihl, Leif Vilhelmssons styvfar, berättade att nybyggarna brukade odlade rovor på palsen. Man förberedde odlingen genom att vända på torven på palsen, vilket ofta resulterade i att palsen efter en tid sjönk ihop allteftersom odlingen förändrade värmeflödet i marken.

August berättade också att beredskapssoldater som bevakade svensk-finska gränsen under andra

världskriget tyckte att en av palsarna nere vid älven var en lämplig tältplats. De slog således läger på palsen som då utgjorde en torr och säker plats i de annars ganska fuktiga markerna närmast älven. All verksamhet på lägerplatsen, inklusive eldning gjorde att palsen sjönk ihop efter bara tre månaders tältande.

Läs mer

- Borge, A.F., Westermann, S., Solheim, I. & Etzelmlüller, B. 2017. Strong degradation of palsas and peat plateaus in Northern Norway during the last 60 years. *The Cryosphere* 11, 1–16.
- Länsstyrelsen Norrbotten. 2014. Kartering av Sveriges palsmyrar. Länsstyrelsens rapportserie nr 4/2014, 72 s. <https://www.lansstyrelsen.se/norrboten/tjanster/publikationer/kartering-av-sveriges-palsmyrar.html>
- Olvmo, M., Holmer, B., Thorsson, S., Reese, H. & Lindberg, F. 2020. Sub-arctic palsa degradation and the role of climatic drivers in the largest coherent palsa mire complex in Sweden (Vissátvuopmi), 1955–2016. *Scientific Reports*, 10, 8937. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65719-1>.

Mats Olvmo är docent i naturgeografi, Sofia Thorsson är professor i naturgeografi, Heather Reese är docent med inriktning GIS/Remote sensing, Björn Holmer är docent emeritus och klimatolog. Alla är verksamma vid Institutionen för geovetenskaper, Göteborgs universitet.
✉ matso@gvc.gu.se



Fossilt bajs

Eller vem åt vem för miljontals år sedan?

Mycket kan man väl jobba med, men fossiliserad avföring? Jovisst! Koproliter, alltså fossila bajsor, kan användas för att ta reda på vilka matvanor sedan länge utdöda djur hade och vilka parasiter de bar på. Genom att ta reda på vem som åt vem får vi också en inblick i hur uråldriga ekosystem såg ut och hur de förändrades över tid.

TEXT OCH BILD: MARTIN QVARNSTRÖM

FÖR ATT KLURA UT hur dessa ekosystem fungerade krävs det dock att två grundläggande, men svåra, frågor besvaras. Hur kan vi identifiera matrester som finns i förstelnat bajs? Och inte minst: vem lade korven?

Kotte eller bajsorv?

Avbildningar av koproliter figurerade i vetenskapliga arbeten redan i slutet av 1700-talet. Då visste emellertid ingen riktigt vad de var för något. Men det spekulerades i att de möjligen var fossila kottar av lärkträd

(vissa spiralformade koproliter är faktiskt väldigt lika kottar), nötter eller bezoarstenar ("stenar" som fastnat i matspjälkningssystemet och som förr i tiden bland annat ansågs ha medicinska tillämpningar).

Sedan kom engelsmannen William Buckland in i bilden. Buckland, som kanske är mest känd för att ha varit först med att ha namngivit ett dinosauriesläkte (*Megalosaurus*), lyckades på 1830-talet med att lista ut att koproliter faktiskt var fossilt bajs och gav dem också dess vetenskapliga namn.

Han hade undersökt fossil från kvartära avlagringar i grottor och jurassiska bergarter från Englands sydkust och var inne på att han kanske hade hittat efterlämningar av bajs. När sedan den kända fossiljägaren Mary Anning visade honom några exemplar av fisködlor (ichthyosaurier) med spiralformade strukturer i magtrakten, insåg Buckland likheten mellan tarminnehållen och hans tidigare fynd från sydkusten.

Det var det sista beviset Buckland behövde för att förstå att fossilen han

Till vänster: Den dinosaurielika härskarödlan *Smok wawelski* tuggade i sig ben vilket resulterade i att bajset är fullt av fragmenterade ben och trasiga tänder. Koproliten är ungefär en decimeter lång och den krossade sågtanden, som är en av de minsta i koproliterna, är omkring 1,5 cm. Fotot av modellen till vänster i bilden är taget av Gerard Gierlinski.

hade samlat in faktiskt var förstenat bajs och tarminnehåll. Koprolitologin var född!

Efter Bucklands studier blev det vetenskapliga samfundet väldigt fascinerat av dessa nya rön vilket initierade något som har refererats till som en period av 'kopromani'. Med några få undantag var heltäckande studier av fossilt bajs fåtaliga och det skulle komma att dröja innan paleontologer insåg den fulla potentialen i att undersöka koproliter. Faktum är att vi kanske inte helt är där ännu...

Hur bajs blir fossil

Kanske undrar du hur bajs, som är så mjukt, verkligen kan fossiliseras? I så fall har du helt klart en poäng. Sannolikheten att en *enskild* bajskorv ska omvandlas till fossil är förstås svindlande liten. Ändå är koproliter relativt vanliga fossil. Hur kan det vara så?

En förklaring till det är att dynga helt enkelt produceras i sådan mängd att det kompenserar för den låga bevarandepotentialen. Föreställ dig till exempel att du är ute och traskar i en skog. Förmodligen kommer du att stöta på betydligt mer spillning och fotspår än djurskelett. På samma vis lämnade varje utdött ryggradsdjur bara ett enda skelett efter sig när det dog (som förmodligen aldrig fossiliserades), men producerade potentiellt tusentals bajskorvar under sin livstid.

Detsamma gäller fossila fotspår. En lat dinosaurie som med nöd och näppe följde hälsorekommendationen att ta tiotusen steg om dagen, och levde i såg tio år, skulle ha tagit över 30 miljoner kliv under sitt liv! Därför hittas också fossila fotspår relativt ofta.

En annan förklaring har med kemi att göra. Ur en kemisk synvinkel utgör nämligen bajs från köttätande djur, liksom koproliterna, en unik mikromiljö rik på kalcium och fosfat.

Likt bajs har faktiskt koproliter till och med utvunnits och använts som gödningsmedel under tidigt 1900-tal!

Den kemiska mikromiljön attraherar vissa bakterier, som inte nödvändigtvis bara bryter ned det biologiska materialet utan kan också mineralisera det i en upplösning av bakteriernas egen storlek (ofta cirka en mikrometer).

Bakterierna livnär sig alltså på det organiska materialet och mineraliserar bajset på samma gång. Bajset börjar bli till en koprolit! Och som om det inte vore nog med bajsfossil, finns det också fossila spyor, fossilt tarm- och maginnehåll, och även spårfossil av urin.

Vem åt vem?

I den mineraliserade koprolitmassan går det att finna matrester och parasitägg, som kan användas för att återskapa olika djurs samspel med varandra. Matrester och annat inuti koproliterna är faktiskt ofta mycket välbevarade. Till och med fossila mjukvävnader såsom hår och muskelceller, vilka annars är väldigt ovanliga fossil, har påträffats i fossilt bajs. Det äldsta förmodade fyndet av fossilt hår från däggdjurens förfäder kommer just från en koprolit och är över 250 miljoner år gammalt!

För att ta reda på vad utdöda djur åt, krävs det att de osmälta och fossiliserade matrester inuti koproliterna identifieras. Men också att

man lyckas ta reda på vem som har lagt korven.

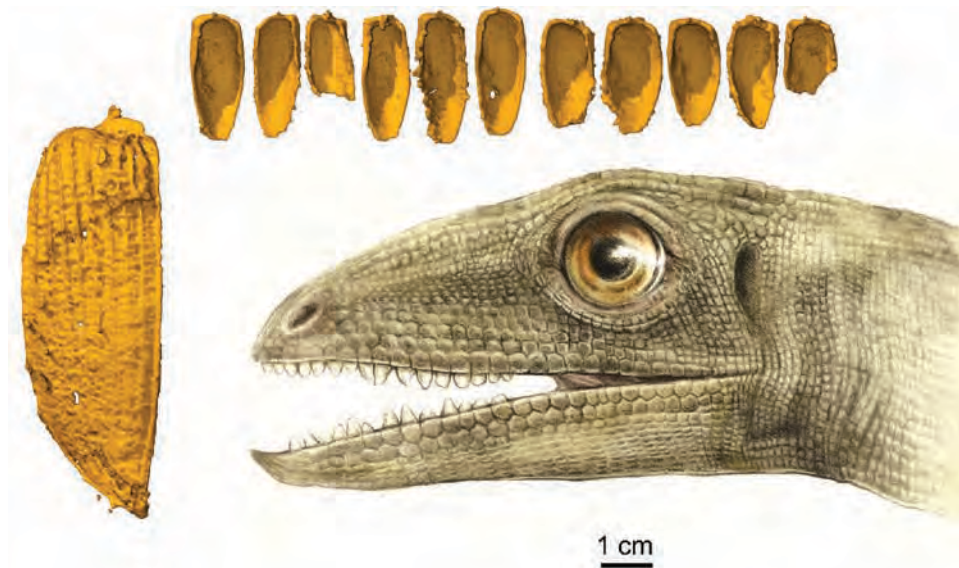
Här påminner bajsfossilforskningen lite som inslaget "gissa bajset" från barnprogrammet "Myror i brallan". Och det ska genast sägas att det inte är det lättaste.

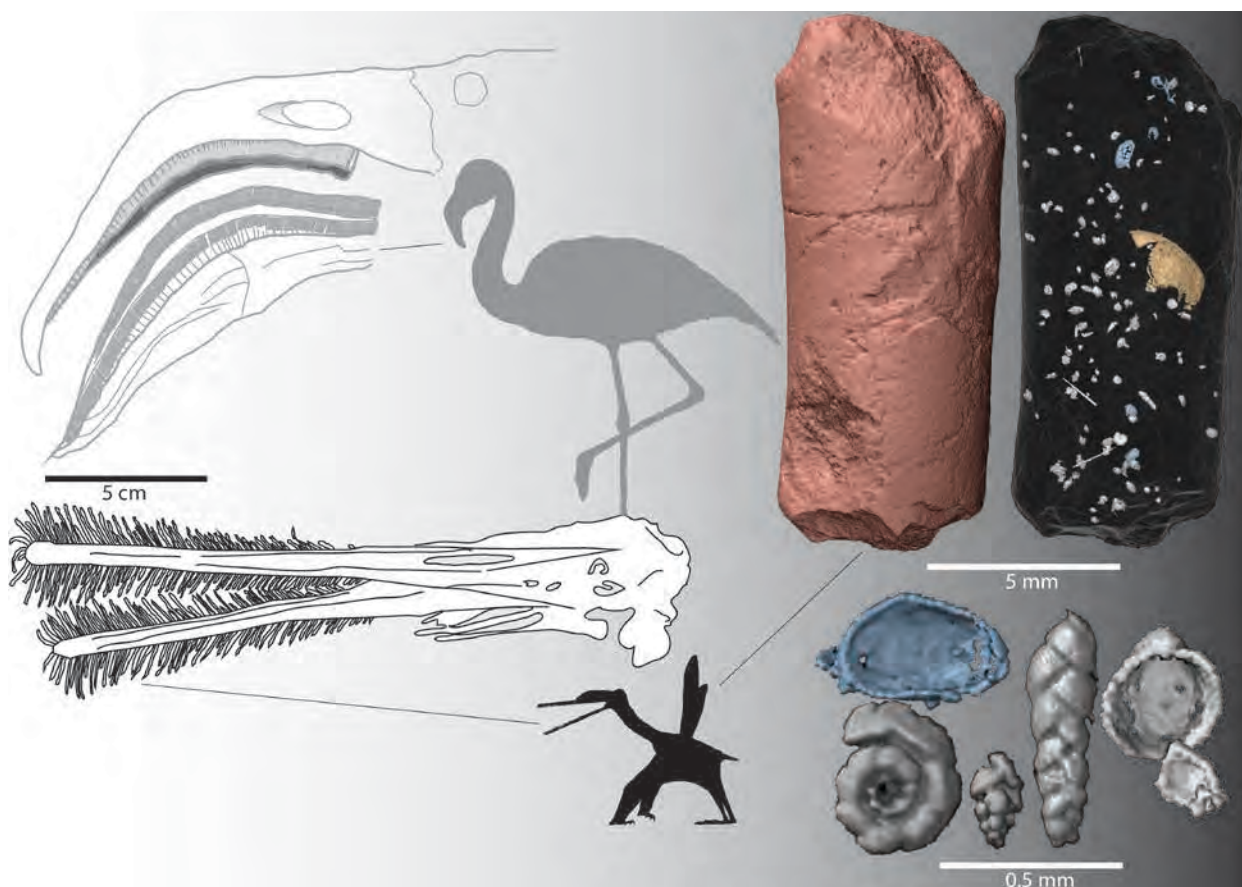
Först är det viktigt att ha bra kunskap om fyndplatsen koproliterna kommer ifrån – alltså vilka tänkbara kandidater det finns att välja på. Sedan kan ibland storleken på koproliten också vara talande.

Enorma koproliter från krita-perioden vilka innehåller krossade benbitar har kopplats till tyrannosaurier, helt enkelt för att de var de enda samtida köttätarna tillräckligt stora för att ha kunnat "producera" dem. Vidare ger formen på koproliten ytterligare ledtrådar. Till exempel lämnar hajar och många fiskar spiralformad avföring efter sig eftersom deras tarm är spiralformad.

Steg två är att ta reda på vad koproliterna innehåller. Traditionellt har detta undersökts genom att göra tvådimensionella snitt (s.k. tunnslip) som studeras under mikroskop. På senare år har vi också börjat använda oss av skikttröntgen för att rekon-

Nedan: Koproliter från insektsätaren *Silesaurus opolensis* innehåller en mängd millimeter-små täckvingar från skalbaggar. Rekonstruktionen av *Silesaurus* är gjord av Małgorzata Czaja (c).





struera innehållet i koproliterna i tre dimensioner utan att behöva förstöra fossilen.

I den här artikeln presenterar jag resultat från tre av mina studier där koproliter skiktröntgats.

En av de tidigaste dinosaurierna åt insekter

Många av oss känner väl till något om dinosaurier, kanske från en tid av dinosaurieintresse under barndomen. Men de flesta av oss tänker nog främst på stora dinosaurier som *Triceratops* eller *Tyrannosaurus* från slutet av dinosauriernas herravälde, eller möjligen *Stegosaurus*, *Allosaurus* och *Bronotsaurus* som alla levde ungefär 100 miljoner år tidigare.

Men dinosaurierna fanns i alla möjliga former, från rörliga små djur till de största varelser som någonsin gått på land. Dinosaurierna var den dominerande landfaunan från början av juraperioden för 200 miljoner år sedan, till det stora utdöendet i slutet av krita för 66 miljoner år sedan.

Men hur kommer det sig då att dinosaurierna tog över som den dominerande faunan? Var det en slump?

Det här är frågor som diskuterats mycket och som fortfarande till största delen är olösta. Visst måste dinosaurierna ha haft en rad anpassningar som gjorde att de inte försvann i tidiga utdöenden och som gjorde att de kunde konkurrera ut andra landlevande djur som tidiga krokodilsläktingar och förfäderna till däggdjuren. En viktig pusselbit för att förstå dinosauriernas framgångssaga är att ta en närmare titt på några av de tidigaste dinosaurierna.

I ett lerbrott i Polen finns fossil, och däribland många koproliter, som är 230 miljoner år gamla. En grupp av koproliter med samma form och utseende visade sig innehålla rikligt med insektsrester, speciellt av skalbaggar. I några av koproliterna finns det tiotals av täckvingar från skalbaggar.

Helt klart kommer koproliterna från en insektsätare, men trots att

Ovan: Vissa flygödlor från sen jura hade långa käkar med många tunna tänder vilket har tolkats som anpassningar för att filtrera. Koproliter som förmodligen kommer från dessa typer av flygödlor innehåller många små matrester inklusive foraminiferer (små skalförsedda amöbor), små skal från havslevande ryggradslösa djur och möjliga borst från havsborstmaskar. Chileflamingon är en nutida filterare vars bajs har visat sig innehålla många foraminiferer då den söker efter föda i våtmarker nära kusten.

denna insektsjägare siktade in sig på små byten var den inte särskilt liten själv. Den största insektsrika koproliten är storleksmässigt snarare jämförbar med bajs från en prärievarg än en liten insektsätare. Den troligaste kandidaten är därför den tidiga dinosaurien *Silesaurus opolensis* som är känd från fyndplatsen. *Silesaurus* hade en sorts näbb som vi förmodar användes för att plocka i sig insekter från marken, precis som vissa fåglar gör idag.

För 230 miljoner år sedan, då *Silesaurus* levde, fanns en hel del dinosaurier, men de hade ännu inte blivit den dominerande djurgruppen på land. Att ta reda på så mycket som möjligt om dessa tidiga dinosaurier är nödvändigt om vi ska kunna förstå varför just dinosaurier tog över som den dominerande gruppen landdjur i slutet av trias och början av jura för att sedan härskas på jorden och uppnå hiskliga storlekar och sedan med undantag för fåglar försvinna i utdöendet under slutet av krita.

En benkrossare till dinosaurie

En annan fyndplats i Polen med 210 miljoner år gamla avlagringar innehåller fossil från en fauna där dinosaurier blivit en allt större del av djursamhället.

De största koproliterna kommer från *Smok wawelski*, en fem till sex meter lång tvåbent predator som i grova drag såg ut som en dinosaurie, även om det inte är helt klart att det faktiskt var en dinosaurie eller en dinosaurieföregångare.

Över hälften av innehållet i koproliterna består av ben, bland annat från stora amfibier och dicynodont-ungar (en grupp växtätare). Flertalet krossade sågtänder som sannolikt tillhörde djuret självt fanns också i koproliterna. Förmodligen krossades tänderna mot hårda födoämnen, svaldes och ersattes sedan av nya. Det hela tyder på att *Smok wawelski* tuggade i sig ben för att få i sig salter och märke, ett beteende som ofta förknippas med däggdjur men inte reptiler.

Ett annat undantag är de tyrannosaurider som härskade i Nordamerika mot slutet av dinosauriernas herravälde (*Tyrannosaurus rex* och dess närmaste släktingar). *Smok* verkar ha haft flera anatomiska drag relaterade till att krossa ben, såsom ett massivt huvud och en kraftig kropp, gemensamt med tyrannosaurierna. Detta trots att de inte var särskilt närbesläktade med varandra och levde mer än 140 miljoner år isär.

De liknande födoanpassningarna hos dessa stora köttätare verkar alltså ha utvecklats oberoende av varandra i början respektive slutet av dinosauriernas herravälde.

Juraperiodens "flamingor"

Fåglar är dinosaurier, men under dinosauriernas herravälde var det inte framför allt fåglar, utan flygödlor, som härskade i skyarna. Pterosaurier, eller flygödlor, var en mångfaldig grupp reptiler och utifrån olika fossiliserade skelett kan vi dra slutsatsen att de, i likhet med dagens fåglar, var anpassade till många olika levnadsmiljöer och födostrategier.

Dessvärre är direkta födobevis kopplade till pterosaurier ovanliga och bara kända för ett fåtal grupper. Ett sådant exempel utgörs av 150 miljoner år gamla koproliter som kommer från en yta med flygödlafotspår i ett kalkbrott i Polen. Koproliternas form, storlek och koppling till fotspåren pekar på att de kommer från flygödlor, och troligast från en grupp som kallas Ctenochasmatidae.

Bilderna från skiktröntgen avslöjade att koproliterna innehåller många små matrester såsom foraminiferer (små skalförsedda amöbor), skal från små havslevande ryggradslösa djur och något som liknar borst från havsborstmaskar. En trolig förklaring till att en flygödlas stor nog för att producera bajset fick i sig så små byten är att den filtrerade ut sin föda från havsvatten. Vissa ctenochasmatida flygödlor tros ha varit filtrerare.

Pterodaustro, som levde under krita och alltså är något yngre än de polska koproliterna, hade en väldigt specialiserad "siktorg" bestående av tunna tänder i underkäken. Käkarna hos äldre ctenochasmatider såg inte riktigt likadana ut, men de var ändå långa och fulla av många tunna tänder vilket också har tolkats som anpassningar för att filtrera. De sistnämnda fanns både i Europa och i resten av världen under samma tid som det fossila bajset avsattes i Wierzbica. Förmodligen kommer både bajs och fotspår från dessa typer av flygödlor.

Chileflamingon är en nutida filtrerare vars bajs har visat sig innehålla många foraminiferer eftersom fågeln söker efter föda i våtmarker nära kusten. Likheten mellan innehållet i chileflamingons bajs och flygödlkoproliterna tyder på att flyg-

ödlorna sökte föda i samma typ av miljö, filtrerade ut sin föda från vattnet och hade samma typ av säll som dessa flamingor. Det kan med andra ord sägas att flygödlorna som lämnat spår efter sig i kalkbrottet Wierzbica i Polen var dåtidens flamingor!

Ekosystem, näringsvävar och utdöenden

Genom att studera koproliter går det alltså att ta reda på mycket om utdöda djurs ekologi. En storskalig analys från en och samma fyndplats gör det möjligt att återskapa hela näringsvävar från ekosystem baserat på faktiska födobevis. Med näringsväv menar jag det nätverk som energi omvandlas i ett ekosystem – alltså vem som åt vem.

I skrivande stund håller vi på att färdigställa ett vetenskapligt arbete där vi jämför tre ekosystem som representerar olika stadier av tidig dinosaurieutveckling för att se vilka förändringar som skedde i ekosystemen när dinosaurier tog över herraväldet på land.

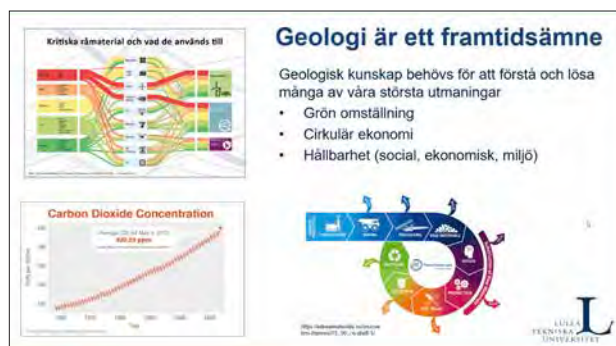
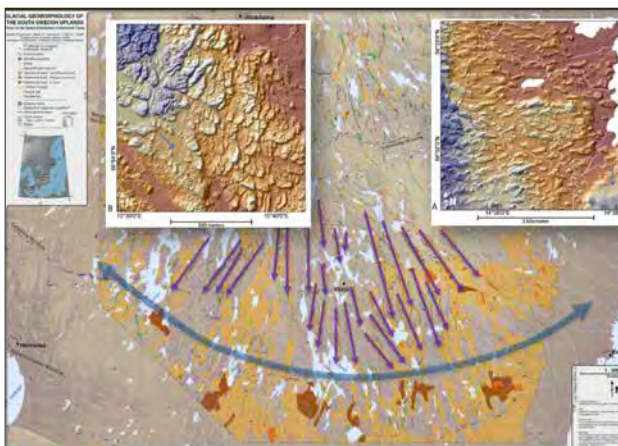
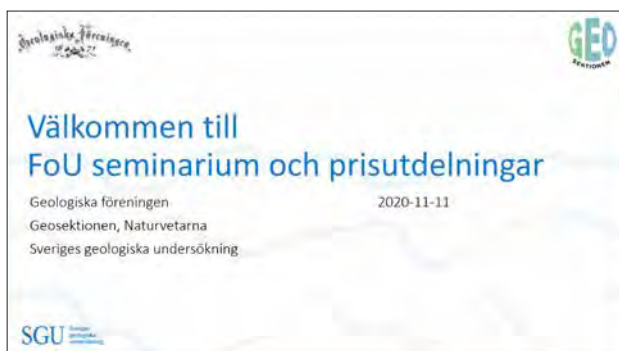
Visst, studier av koproliter kanske inte kan rädda oss från klimatförändringar eller bevara den biologiska mångafalden. Däremot finns det en hel del att lära från hur ekosystem har förändrats över tid och påverkats av klimatförändringar för.

Hur har ekosystem förändrats innan, under och efter stora utdöenden? Jag både hoppas och tror att fossilt bajs kommer att undersökas mer i detalj i framtiden och att detta kommer ge en utökad förståelse i hur utdöda djur interagerade med varandra samt hur olika ekosystem förändras över tid och återhämtat sig efter massutdöenden.

Om William Buckland hade rest sig från graven hade han nog varit nöjd över att koprolitstudier äntligen börjar få ett uppsving, men han hade nog också hållit med mig om att vi än så länge bara sett början av många fantastiska nya upptäckter! ♦



Martin Qvarnström är paleontolog vid Evolutionsbiologiskt centrum, Uppsala universitet.
✉ martin.qvarnstrom@ebc.uu.se



Några av de bilder som passerade revy på bildskärmen i samband med seminariet. Överst t.h. Årets geolog, nederst t.v. från Mark Johnsons föredrag, Nederst t.h. från Nils Janssons föredrag.

Prisutdelningar och FoU-dag

Den 11 november genomfördes för första gången ett gemensamt, och digitalt (!), seminarium arrangerat av Sveriges geologiska undersökning, Geosektionen vid Naturvetarna och Geologiska Föreningen. På seminariet presenterades delar av den forskning som finansieras av SGU och priser delades ut till Årets geolog och Geologiska Föreningens pristagare.

Det var ett digert program som bjöds deltagarna i seminariet. Dagen inleddes redan klockan 10.00 på förmiddagen med en välkomsthälsning från SGU:s generaldirektör Anneli Wirtén. Därefter följde mängder av intressanta föredrag. Om du vill se vilka som talade finns programmet här: www.sgu.se/om-sgu/evenemang/kalendariet/fou-pa-sgu/ eller följ qr-koden.



Före lunch delades priset Årets geolog ut till Emma Rehnström. Läs mer om henne och motiveringen till varför just hon förtjänat priset i förra numret av Geologiskt forum.

Efter lunch presenterades en mängd av de forskningsprojekt som finansieras av SGU. Varje år delar man ut omkring sex miljoner kronor i forskningsmedel till universitet, högskolor, forskningsinstitut och myndigheter

med forskningsuppdrag. Medlen finansierar både nya och pågående projekt inom både metodutveckling och forskning inom geovetenskap av relevans för SGU.

Geologiska Föreningens två pristagare (läs mer om dem här intill) uppmärksammades också, och vi fick möjlighet att ta del av deras forskning.

Uppslutningen till seminariedagen var mycket god. Som mest var det över 90 deltagare i Skype-rummet. De flesta deltagarna verkade mycket nöjda och arrangörerna hoppas att det här kan bli ett återkommande evenemang även kommande år. Även andra mer tematiska geovetenskapliga online-möten diskuterades som en möjlighet. Digitala möten har, trots allt, fördelen att fler kan delta även om man inte har möjlighet att resa. ♦

Jeanette Bergman Weiheid

Stefan Andersson får föreningens Jan Bergströmpris

Geologiska Föreningens styrelse har beslutat att tilldela 2020 års Jan Bergströmpris för yngre lovande forskare inom geovetenskaper till Stefan Andersson, Uppsala universitet. Priset delas ut till unga geoforskare som redan tidigt i sin vetenskapliga karriär gjort betydande insatser för geovetenskaperna.

Stefan disputerade 2019 vid Helsingfors universitet på en avhandling om en helt ny typ av mineralisering med sällsynta jordartsmetaller (REE) i Olserum i norra Småland. I arbetet, med titeln "Formation of hydrothermal REE-phosphate deposits", undersökte och karakteriserade han dessa mineraliserade system som tillsammans med Norra Kärr utgör två av de till synes viktigaste REE-mineraliseringarna i Europa. Doktorsavhandlingen har redan resulterat i flera artiklar i högt rankade internationella tidskrifter. Han har också tidigare i sin karriär uppmärksammats för framstående vetenskapliga arbeten. Till exempel fick han SveMins Jan Kempepris för bästa examensjobb 2014 för sitt arbete rörande Zn-Pb-(Ag)-mineraliseringar i gruvan Hornkullen i Bergslagen.

Stefan som tog sin MSc-examen vid Uppsala universitet är nu tillbaka vid samma lärosäte och jobbar som forskare inom europeiska projekt. Trots att Stefan disputerade så sent som förra året har han redan visat en mogenhet som geovetare och forskare vilket gör honom till en värdig mottagare av Geologiska Föreningens Jan Bergströmpris. ♦



Erik Sturkell tilldelas Geologiska Föreningens Hiärnepris

Geologiska Föreningens Hiärnepris för betydande populärvetenskaplig verksamhet inom det geovetenskapliga området tilldelas år 2020 Erik Sturkell.

Erik är professor i geofysik vid Institutionen för geovetenskaper, Göteborgs universitet. I Göteborgs universitetstidning sciencefacultymagazine.se sägs att "det är lätt att smittas av Erik. Av entusiasmen. Berättarglädjen. Vänligheten. Att bli överväldigad av de omfattande kunskaperna i geologi".

Entusiasmen och berättarglädjen har bland annat tagit sig i uttryck som en omfattande populärvetenskaplig aktivitet i såväl skriven media som radio och tv där Erik på ett förtjänstfullt sätt populariserat geologin och geofysiken. Redan i sin avhandling visade Erik denna ådra då han illustrerade meteoritnedslaget i Lockne i en humoristiskt återgiven seriestripp med typiska ljud från nedslaget i pratbubblor!

Sedan dess har Erik medverkat i otaliga sammanhang för att popularisera vulkanologin som ligger honom varmt om hjärtat. Han har varit en flitig gäst i Sveriges radios morgonpass där han på ett passionerat sätt förklarar hur vulkaner fungerar och hur meteoritimpakter påverkat jorden.

Han är känd för många för sitt levande sätt att beskriva geologer på film och med för sitt sätt att statistiskt beskriva huruvida dessa geologer räknas som onda eller



goda i filmerna, detta har bland annat beskrivits i Geologiska Föreningens populärvetenskapliga tidskrift Geologiskt Forum. Ett annat exempel på Eriks utåtriktade aktiviteter är den exkursionsguide om fasadstenar i göteborgska byggnader från 1790 till 1944 som Erik sammanställt tillsammans med kollegor i Göteborg. Tillsammans gör detta Erik till en värdig vinnare av Geologiska Föreningens Hiärnepris 2020. ♦

Årsmöte och ny styrelse för 2021

Så hölls det ett årsmöte i föreningen till slut. Vi hoppades i det längsta att det skulle gå att genomföra som ett fysiskt möte, men när smittspridningen åter ökade i samhället stod det klart att vi behövde tänka om. Så årsmötet blev digitalt ...

Årsmötet avlöpte enligt plan den 11 november på förmiddagen, före den långa seminarie- och prisutdelningsdag som du kan läsa om på föregående uppslag.

Trots, eller kanske tack vare, att årsmötet var digitalt hade vi något fler deltagare än vanligt. Sedvanliga årsmötespunkter togs upp och resultatet från valet av nya styrelseledamöter presenterades. Nya ledamöter från årsskiftet är Jenny Andersson och Nils Jansson. De presenterar sig själva nedan. Föreningen får också ny ordförande, Emma Rehnström. En utförligare presentation av henne kommer i nästa nummer. ♦



Nils Jansson

Ålder: 40
Bor: Luleå
Familj: Sambon Barbara
Arbete: Biträdande professor i malmgeologi vid Luleå tekniska universitet
Fritid: Medeltida långbåge, vara ute i naturen

Jag blev insnöad på geologi och gruvor efter ett turistbesök i silvergruvan i Sala, och jobbade som gruvguide parallellt med studierna i Uppsala. Sedan for jag till Luleå tekniska universitet för att doktorera 2007–2011 och blev sedan fast i norra Sverige. Jag har också hunnit avverka några år som prospekteringsgeolog vid Boliden Mineral. Min forskning fokuserar på att integrera geokemi, stratigrafi, strukturgeologi och mineralogi för att lösa malmgeologiska frågor. Vid LTU undervisar jag i gruvgeologi, fältkartering, mineralogi och forskningsetik.

En för mig viktig fråga är hur vi kan öka intresset för geologi, och vilken roll geoturism kan fylla för det. Jag tror att många av de samhällsutmaningar vi står inför inte kan lösas utan kunskap om geologi, t.ex. gruvornas roll i den gröna omställningen. En annan viktig fråga är det svaga forskningsstödet att bedriva grundforskning på svensk berggrund. Många intressanta områden i Sverige har aldrig undersökts eftersom de ekonomiska förutsättningarna att forska utanför kända områden är svaga. ♦

Jenny Andersson

Ålder: 51 år
Bor: Uppsala
Familj: Man och barn
Arbete: Berggrundsgeolog vid avd. Mark och Grundvatten, Sveriges geologiska undersökning
Fritid: Kulturtant



Det var en diskussion med Jehovas vittnen som fick mig att vilja veta mer om berggrundsgeologi och som väckte mitt särskilda intresse för geokronologi. Det har nu gått precis 30 år sedan dess och jag har fortfarande ett ohejdat intresse för geologi. Mitt första fältarbete gjorde jag i Lapplandsfjällen sommaren 1993. Jag har därefter haft förmånen att undersöka den svenska berggrunden från Skåne i söder till Norrbotten i norr, med utflykter till den grönländska isranden, det subarktiska Kanada och den amerikanska mellanvästern.

Under åren har jag arbetat inom många olika områden, från kartläggning och forskning till tillämpade underlag för till exempel platsundersökningen i Forsmark. Idag arbetar jag främst med frågor som rör miljö och grundvattnets kvalitet. Den här bakgrunden har gett mig förståelse för hur viktig kunskapen om geologi är för samhället, miljön och den enskilda individen. Jag ser därför fram emot att delta i föreningens arbete med att sprida intresse och kunskap om geologin som vi lever i och är beroende av. ♦



Opålitligt urberg

Längs fjällranden ser man på många ställen hur de paleozoiska lagren som en skälla skjutits ut över det prekambriskas urberget. Kontakten markeras av den så kallade glinten, där skällan med en tvärbrant front vilar på det av en rasbrant täckta urberget. Närmast under skällan kan man studera detta, såsom vid berggrundskarteringen på 1940–50-talen (se SGU Ca 41).

1952 arbetade jag inom detta projekt, bl.a. söder om Torneträsk. Berggrunden var ofta, såsom i Sarvasjokks dal, dåligt blottad men var blottad direkt under fjällberggrundens skälla.

Vittring och erosion hade där bildat en hylla med skällans kant som tak. För att titta närmare på traktens migmatitbergarter kröp jag ett ansenligt stycke längs denna hylla.

Det gick nog så bra tills jag passerade en zon med sprickigt berg. Plötsligt försvann ett stycke av hyllan under mig och jag blev hängande med benen på ena sidan av raset och överkroppen med armar och huvud på den andra. Jag lyckades dock samla ihop kroppen och krypa vidare, oskadd.



Stora bilden: Extrageologen Göran Folcker betraktar den här ganska söndervittrade glinten i Sarvasvage. Foto: JL 1952.

Lilla bilden: I Sarvasvage framträder den skuggade glinten tydligt i dalsidan. Foto: JL 1952.

Det hela avlöpte väl men den medföljande extrageologen som bevittnat incidenten nedifrån var djupt skakad. Dddu kkkkunde ha slagit ihjäl dig stammade han, blek i ansiktet då vi återförenades.

Kommentaren var ju helt riktig – inte ens urberget är alltid att lita på. ♦

FOTO: LENA LUNDQVIST.



Jan Lundqvist, professor vid Stockholms universitet 1980–1993.

✉ jan.lundqvist@geo.su.se



Älgön-Brattön

OAR SOM FÖR TÄNKARN TILL RIO DE JANEIRO

BOHUSLÄN

SVSKONÄRNA BRATTÖN OCH ÄLGÖN reser sig majestätiskt i Hakefjorden och imponerar med sina toppar på 130 respektive 96 meter över havet. Ändå utgör de synliga öarna bara en mindre del av en stor gemensam kropp med magmatiskt ursprung som ligger dolt under dem. Betydligt längre ner i fjordkorporna, runt tre mil, händer det saker och ting för cirka 900 miljoner år sedan. Här gjorde nämligen en het magmakammar sig av med en del av sitt innehåll och lät magmamassan stiga upp genom fjordkorporna. Uppstigningen kunde den göra tack vare sin låga densitet (den var alltså lättare än omgivande bergarter; kan jämföras med en uppblåst luftballong vars gasinnehåll är lättare än den omgivande luften) och sitt

heta innehåll som smälte det som stod i vägen. Exakt hur lång tid just denna vandring upptog är svårt att säga, men man vet att liknande förlopp kan ta flera hundra tusen år. Allt kunde ha utvecklats till vulkanisk aktivitet men magmamassan orkade inte ända upp till jordytan utan gjorde halt en bra bit innan. Massan kylades av och stelnade. En sådan kropp – i det här fallet omsluten av bergarten gnejs – kallas av geologer för en intrusion, vilket är en betydligt vanligare förekomst än utbrott på jordytan, det vill säga vulkanutbrott (extrusion).

Bergarten norit bygger till största delen upp magmakroppen vilken alltså Brattön och Älgön är en del av. Denna bergart har större motståndskraft mot vittring och



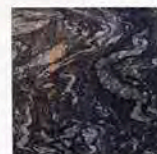
erosion jämfört med gnejsen runtomkring. Under årmåner har denna gnejs malts ner av vatten, vindar, frostsprängning, inlandsisar med mera, medan intrusionen i betydligt högre utsträckning har stått emot tidens tand. Nu står dessa öar i Hakefjorden på samma sätt som Sockertoppen i Rio de Janeiro, också den en tuff intrusion som njuter av utsikten över ett landskap som den för länge sedan var helt innesluten i.

En paddeltur med kajak utmed Brattön och Älgöns södersidor blir till en helt otäcklig upplevelse! Du kommer att få se hullar och klippor med mönster som du förmodligen aldrig har stött på tidigare. Anortouitfragment i norit, diabasgång, kontaktgnissar, sedimentär lagring, ådror i gnejs, järnkrystaller, granitgång – så beskriver geologer bergsöarnas innehåll. För dig som inte känner till dessa termer räcker det långt med att bara ta in allt detta med

egna ögon.

Utsikten från Brattön, som är västkustens högsta berg, är storslagen och en väg leder dig hela vägen upp. Älgön erbjuder också besökaren vändlande vyer, därtill en intressant flora och flera kulturstilla inslag. På väg upp till den stora fjungöden, som ligger högt upp på ön, går du genom lummig lövskog som är ovanligt stor för att vara en skärgårdssjö i Bohuslän. Informationskylten vid bryggan ger dig en bra guidning. Både Brattön och Älgön är naturreservat.

Boken *Street på Bohuslän* rekommenderas varmt! I denna finns bland annat utmärkt kartor med beskrivningar av de bästa geologiska platserna. Om man inte har boken, kan man fotografera av informationskyltens lokalangivelser vid Älgöns brygga på södersidan (drys i kon från öns östliga spets) och sedan paddla vidare utmed öarna.



BOHUSLÄN I ÄLGÖN-BRATTÖN - 93

Nyfiken på geologi

Nu när vi behöver hålla fysiskt avstånd från varandra har en ny bok kommit som inbjuder till just detta – och som dessutom hjälper oss att upptäcka intressanta geologiska besöksmål i Sverige.

TEXT: PÄR WEIHED

RECENSION

NYFIKEN PÅ GEOLOGI, kan vara både

en fråga, ett påstående och titeln på en nyutkommen bok med underrubriken "Guide till 150 upplevelser i Sveriges landskap".

Onekligen blir man nyfiken när man ser omslaget till Anders Rapps

nyutkomna och rikt illustrerade bok. Anders Rapp, som skrivit boken, är naturpedagog, fotograf och författare som i förordet beskriver sin egen resa att utifrån ett stort naturintresse och resor i Sveriges natur alltmer började inse "att vårt land hyser fler skatter med geologiska förtecken än vad jag som icke-geolog någonsin kunnat

föreställa mig". Med denna insikt har han skrivit en bok på 288 sidor om 150 geologiska besöksmål som alla beskrivs i både bild och text.

Boken är skriven för den naturintresserade allmänheten och börjar med en inledning där läsare får information om den geologiska tidskalan. Här har han valt att klumpa

ihop prekambrium vilket kanske är lite synd med tanke på att en väldigt stor del av vårt land utgörs av en prekambrisk berggrund.

Det hade kanske också varit bra med en enkel berggrundskarta över Sverige i inledningen för att koppla tidsskalan till den svenska geografin. Även en enkel jordartskarta hade varit bra.

Bortsett från detta är inledning bra och de geologiska processer som bildat och format vårt land beskrivs översiktligt innan själva guiden tar vid.

Besöksmålen är indelade efter landskap och besöksmålen är ganska jämnt fördelade över vårt land. För varje besöksmål finns en mycket enkel landskapskarta med besöksmålet angivet samt en inboxad text med titeln "Hitta hit" som beskriver hur du hittar till besöksmålet. Besöksmålen beskrivs sedan med korta, informativa texter. För varje besöksmål finns också ett eller flera vackra färgfotografier som inbjuder till besök!

Boken avslutas med ett orts- och begreppsregister samt tips på hur man kan gå vidare med sitt nyvunna geologiintresse genom information om geologiska föreningar, geoparker, SGU m.m.

I dessa märkliga tider när covid-19-pandemin härjar som värst är det här en välkommen inspirationskälla till aktiviteter utomhus. Med hjälp av boken kan man med råge uppfylla folkhälsomyndighetens råd om att hålla avstånd och inte umgås med för många! Det är bara att sätta igång... Börja i söder eller norr och se hur fort du kan avverka de 150 upplevelserna!

Det blir i slutändan alltid en avvägning av författaren vad som ska vara med i en bok som denna och de avvägningarna kan vara svåra. Personligen tycker jag att Rapp har lyckats bra med ett fokus på, som det uttrycks i förordet, kopplingen mellan geologi, natur och kultur.

Som professor i malmgeologi kan jag tycka att vårt enda världsarv kopplat till berggrundsgéologi och Sveriges gruvdrift (som dock ändå är representerat i boken på ett flertal ställen), Falu koppargruva borde ha fått plats. Falu koppargruva är ett fantastiskt utflyktsmål ur både ett geologiskt och kulturellt perspektiv. Kanske kunde också en av Norrbottens största turistattraktioner, besöksgruvan i Kiruna, ha fått plats.

Jag funderar också på om det skulle gå att göra en version av boken som är mer fältmässig, en exkursionsguide att ta med ut helt enkelt eftersom denna bok främst är avsedd för hemmaläsning. Eller varför inte lägga in alla besöksmålen i en app som man kan ha med sig i mobilen? Tips att fundera på för författaren.

Boken kan varmt rekommenderas till alla naturintresserade, både de som ännu inte upptäckt hur fascinerande geologi är och för oss som redan är frälsta men som av någon anledning ännu inte avverkat alla de 150 beskrivna platserna!

Ut och åk! ♦



Pär Weihed är professor i malmgeologi och prorektor vid Luleå tekniska universitet
✉ par.weihed@ltu.se



NYFIKEN PÅ GEOLOGI Guide till 150 upplevelser i Sveriges landskap

Författare: Anders Rapp
Utgiven: Augusti 2020
Band: Inbunden
Antal sidor: 289
Format: 210 × 260 mm
Förlag: Votum
ISBN: 9789189021037
Pris: 295 kr

Boken tar dig med till 150 spännande platser i Sverige som bjuder på stora geologiska upplevelser. Den lyfter även fram natur- och kulturvärden vid besöksmålen och är såväl en guidebok som en faktabok. I boken förklarar Anders Rapp den geologiska bakgrunden till det du möter på de olika platserna. Bokens huvudfokus ligger på den del av geologin som omfattar former i terrängen.



KEBNEKAISES GLACIÄRER

Det finns ytterligare en nytgiven bok från Votum förlag som kan intressera Geologiskt forums läsare: Per Holmlunds och Anna Schyatts bok om Kebnekaises glaciärer.

I boken följer författarna de tidiga forskarna i spåren. De berättar historierna om pionjärerna och deras drivkrafter. Mätningar, foton och beskrivningar, som kostat mycket möda att ta fram, har idag ett ovärderligt värde för den moderna forskningen och ger oss möjlighet att förstå vad som

sker. Sedan slutet av 1800-talet har glaciärernas gåtor dragit både turister och forskare till Kebnekaises mest alpina fjäldal: Tarfaladalen.

Författare: Per Holmlund & Anna Schytt
Utgiven: Mars 2020
Band: Inbunden
Antal sidor: 136
Format: 210 × 225 mm
Förlag: Votum
ISBN: 9789189021051
Pris: 245 kr



Från gas till mineral

- framtidens fasta lösning på koldioxidfrågan

TEXT OCH BILD: ERIK STURKELL & GABRIELLE STOCKMANN

En av mänsklighetens största utmaningar är att reducera mängden koldioxid i atmosfären. Som läget är nu i Jordens atmosfär räcker det dock inte bara att minska utsläppen. Koncentrationen av koldioxid har redan blivit så hög att man aktivt behöver fånga in koldioxid från luften. Ett steg på vägen mot detta mål är att genomföra lagring av gasen koldioxid på ett säkert sätt och här går utvecklingen i rasande fart.

DET FINNS OLIKA metoder att binda koldioxid på, såsom att plantera träd, pumpa ner gasen i tomma oljefält eller att få koldioxiden att reagera med kalcium- eller magnesiumrika bergarter som t.ex. basalt eller mantelbergarter (peridotit) och bilda mineral.

Framför allt Island och landets CarbFix-projekt (läs mer om projektet på carbfix.com) verkar ha hittat en perfekt lösning för att lagra koldioxid i säkra mineral och med en metod som förhoppningsvis kan användas också utanför Island. Om detta blir verklighet ser framtiden ljusare ut.

Gamla oljefält

De första storskaliga projekten för att lagra koldioxid inleddes under 1990-talet av det norska företaget Statoil. De började pumpa ner koldioxid i ett tomt oljefält under Nordsjöns botten vid Sleipner-A-plattformen år 1996. Här pumpar man än idag ner koldioxid till

Motstående sida: Flygbild med kraftverket Hellsheiði år 2011.

Till höger: Karta över den sydvästra delen av Island. Kraftverket Hellsheiði ligger vid den aktiva vulkanen Hengill.

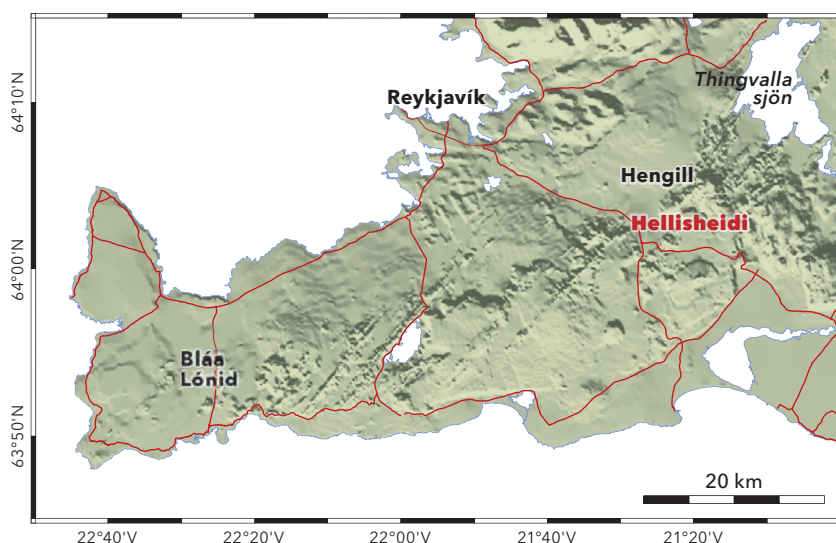
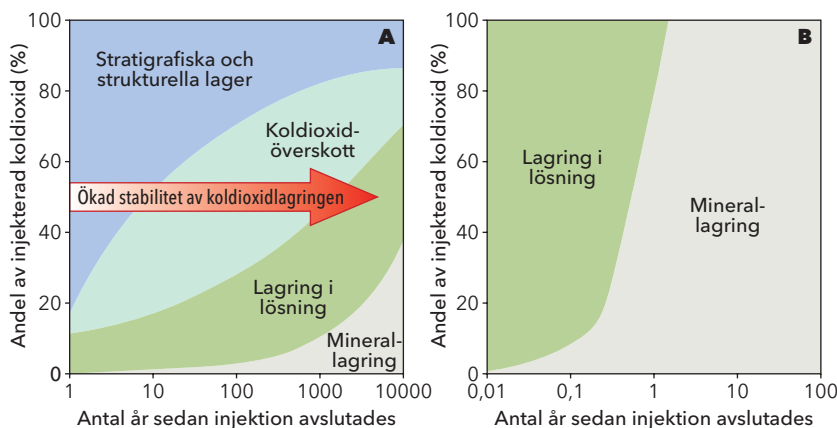


Bild 1: Diagrammen visar i vilken form som koldioxiden binds och hur lång tid det tar för två olika lagringsstrategier.

A. Lagring genom att koldioxid pumpas ner i till exempel tomma kolvätefällor där den långsamt reagerar med omgivningen (Källa: IPCC-rapporten 2005).

B. Koldioxid upplöst i vatten pumpas ner i basalt, och allt är bundet i fasta mineralfaser efter några få år (Källa: Snæbjörnsdóttir m.fl. IJGGC 2017).



en saltvattensreservoar i sandstensformationen Utsira som ligger på mer än 800 meters djup under havsbotten.

Djupet är väsentligt för att behålla koldioxiden som en superkritisk vätska snarare än som en gas (bild 1A). Detta är viktigt av säkerhetsskäl. Fram till nu har man totalt pumpat ner ungefär 20 miljoner ton koldioxid i Utsiraformationen.

Eftersom koldioxiden inte är bunden till fasta mineral utan ligger i marken som en superkritisk vätska, så migrerar koldioxiden kontinuerligt uppåt i Utsiraformationen. Därför måste det alltid finnas ett tätt geologiskt lager ovanpå den bergartsformationen där man lagrar den superkritiska koldioxiden. Detta lager fungerar då som ett tätt lock. Inga läckage får uppstå! Vid Sleipner-A-plattformen utgörs locket av bergarten Nordland Shale Cap Rock.

Sedan 2008 har Statoil också etablerat koldioxidlagring i Snøhvit-fältet norr om Norge. Här pumpas 700 000 ton koldioxid per år ner, vilket kan jämföras med 1 miljon ton koldioxid per år vid Sleipner-plattformen.

Det finns också några aktiva olja-gasfält där man kombinerar koldioxidlagring med EOR, eller Enhanced Oil Recovery. Detta innebär att den nedpressade koldioxiden hjälper till att utvinna mer olja eller gas från fältet. Denna metod används t.ex. i Weyburn-Midale i Canada och In Salah i Algeriet.

Ofioliter som lager

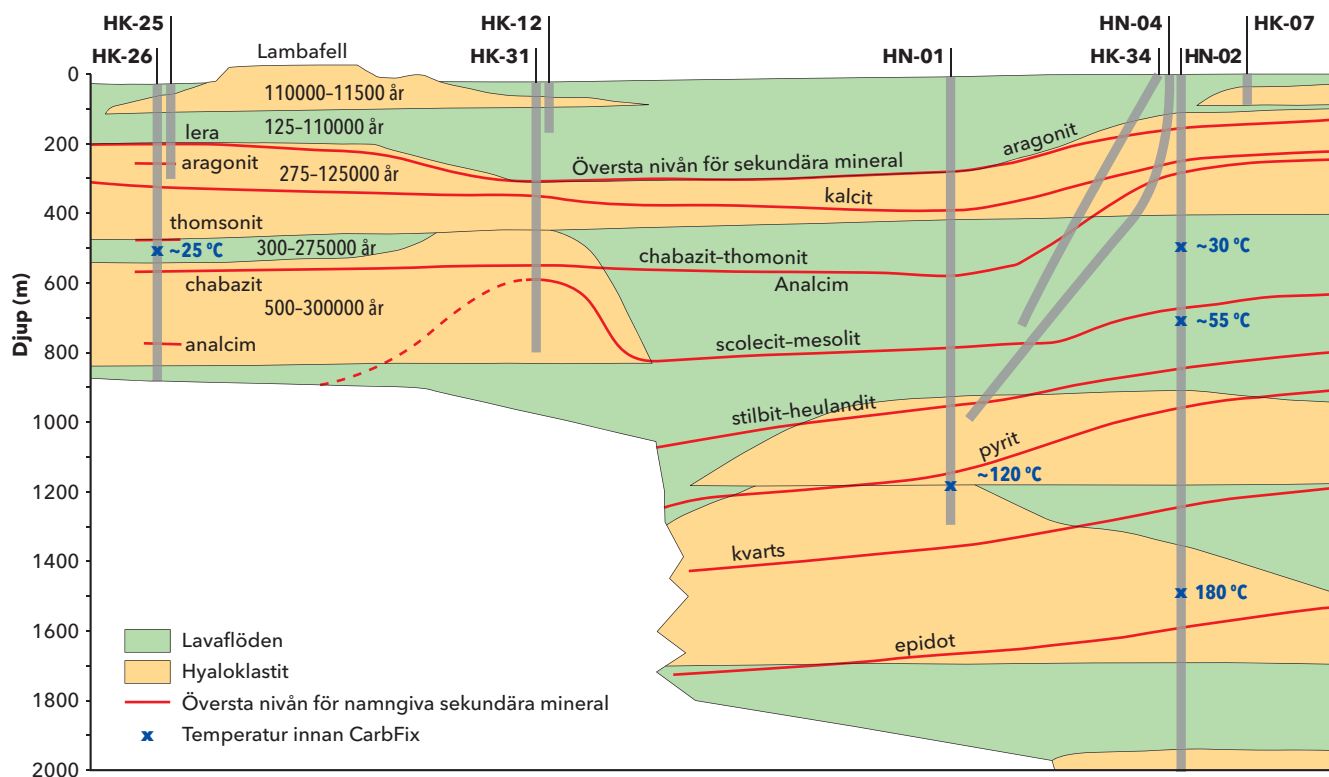
En urlakad peridotit, vilket är vad den översta delen av övre manteln består av, innehåller mer än 40 procent olivin, och det är den magnesiumrika varianten av oli-

vin, forsterit (Mg_2SiO_4), som dominerar helt.

En magnesiumrik bergart underlättar koldioxidlagring, eftersom det i en serpentiniseringsprocess bildas ett överskott av magnesium och magnesiumkarbonater kan bildas. Om endast vatten finns med bildas magnesiumhydroxid som ett mellansteg. Detta sker naturligt. Men om vatten och även koldioxid finns tillgängligt kan magnesiumkarbonater bildas direkt.

Den senare processen är den som det finns planer på att utnyttja industriellt för koldioxidlagring. Man binder därmed koldioxiden i stabila mineralfaser vilket är det säkraste (bild 1B).

I Oman har man några av de bästa förutsättningarna för denna typ av koldioxidlagring tack vare landets rikedom av ofioliter och andra



mantelbergarter. Dessutom ser man processen hända naturligt och man har kommit långt med forskningen och planerna, men i nuläget har styret i Oman tyvärr bestämt sig för att inte satsa på denna teknologi. Läs mer om detta i Geologiskt forum nr 105.

Vulkaner – en resurs

Att utnyttja geotermisk energi ses oftast som en grön resurs, men om den geotermiska energin är kopplad till vulkaner bör man vara medveten om att vulkaner avger mängder av koldioxid och andra gaser som metan (CH_4), kväve (N_2) och svavelväte (H_2S).

Det är speciellt i geotermiska högt temperaturområden (med temperaturer över 120°C) vid (eller på) aktiva vulkaner som man placerar industriella anläggningar. Från aktiva vulkaner kommer det alltid ut gaser, och om man bygger ett kraftverk och perforerar vulkanen med borrhål ökar avgasningen. Därför är utnyttjandet av geotermisk energi inte alltid så grön som man kanske tror.

Islands tidigare president Ólafur Ragnar Grímsson träffade Al Gore, Bill Clinton och forskaren Wally

Broecker på ett klimatmöte år 2002. Här blev han inspirerad och såg ett syfte med sitt presidentskap: att rädda världen och att inte blanda sig i den isländska regeringens arbete var perfekt. Två flugor i en smäll.

Man bildade 2007 ett isländskt-franskt-amerikanskt konsortium och projektet CarbFix (karbonatfixering) var fött. Det kommunala bolaget Reykjavík Energy (Orkuveitan Reykjavíkur) började bygga ett geotermiskt kraftverk, Hellisheiði, vid den sydvästra foten av den aktiva vulkanen Hengill år 2002 (se kartan på föregående uppslag).

Kraftverket Hellisheiði byggdes främst för elproduktion till Reykjavík med omnejd, och det producerar 303 MW (400 MW termal energi). Reykjavík Energy erbjuder det geotermiska kraftverket som plattform för att utveckla den tekniska lösningen till att konvertera koldioxidgas till fasta mineralfaser.

Metoden var ytterligare inspirerad av att naturen faktiskt gör detta helt naturligt i marken under Hellisheiði. Här finns både kalkit och aragonit naturligt lagrat i basalten på vissa djup. Nästa steg var därför att förstå

Bild 2: Berggrunden vid Hellisheiði består av omväxlande lager av lava och hyaloklastit som den här profilen visar. Hyaloklastiterna bildades under perioder då en inlandsis täckte landet. De röda linjerna markerar de högsta nivåerna för specificerade sekundära mineral. De grå, vertikala linjerna representerar borrhål. Bilden är omritad efter en förlaga av Helgi Alfredsson.

och kopiera, och förhoppningsvis även optimera, vad som sker kemiskt och mineralogiskt helt naturligt i Islands berggrund.

En internationell forskargrupp omfattande mer än 30 forskare och ett flertal doktorandprojekt började sitt arbete 2007. Dessutom genomfördes ett antal projekt på master- och post doc-nivå. Huvudsyftet var att träna unga forskare i teknologin. Dessa unga forskare ingick i stora EU-nätverk för att stärka delningen av forskningsresultaten. Ju fler som jobbar tillsammans ju större chans för succé.

Idag har man en fantastisk kontroll på vad som sker och vilka förutsättningar som ger den bästa verkningsgraden. CarbFix-projektet har också

fått stort beröm och erkännande internationellt med ett flertal priser som t.ex. Keeling Curve Prize 2020. Det viktigaste är dock att metoden fungerar så bra och ger hopp om framtidens möjligheter för att minska mängden koldioxid i atmosfären.

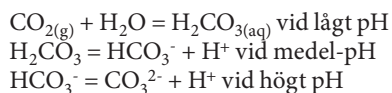
Att binda koldioxid i fasta mineralfaser verkar vara den väg som är helt stabil i ett långt tidsperspektiv. Där man pumpar ner koldioxiden superkritiskt kommer en viss mängd att reagera med omgivningen och bilda mineral, men denna process tar lång tid och efter 10 000 år har bara omkring en tredjedel av den nedpumpade koldioxiden fixerats i en fast fas. Med CarbFix-metoden däremot klarar man av att åstadkomma detta redan inom ett år!

Hur går det till?

Att bilda karbonatmineral under en aktiv vulkan är som nämnts en naturlig process och forskningen i CarbFix syftar till att förstå exakt vad det är som sker och att optimera detta.

Metoden man använder i projektet är att lösa upp koldioxidgasen i vatten likt en gigantisk Sodastream-maskin och sedan pumpa ner blandningen till rätt nivå i berget. Det gäller att hitta nivån där temperatur och pH är de ultimata för att lösningen ska reagera med basalten så att karbonater och senare sulfider fälls ut (bild 2).

Då koldioxid och vatten bildar kolsyra (H_2CO_3) kallas det för lagring i lösning. Detta ger följande reaktioner och beroende på pH bildas olika karbonatjoner i lösningen:

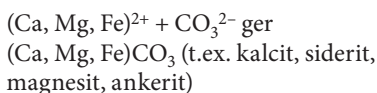


Upplösningsreaktioner av mineral i basalt kräver tillgång till protoner

(H^+). Dessa protoner kommer från bildningen av kolsyra enligt reaktionerna beskrivna ovanför och då kan det se ut så här:

Basaltiska bergarter/glas + $x\text{H}^+$ frigör dessa joner i lösningen: $\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+} + \text{SiO}_{2(aq)} \dots$
Forsterit, $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 4\text{H}^+$ ger $2\text{Mg}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{SiO}_{2(aq)}$
Pyroxen, $(\text{Ca,Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6 + x\text{H}^+$ ger $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}$ etc.

Upplösningen av mineral och basaltiskt glas förbrukar därmed protoner vilket driver upp pH till pH-värden där karbonatmineral kan bildas. Här kombineras de frigivna metalljonerna (Ca, Mg, Fe) med de upplösta karbonatjonerna (CO_3^{2-}):



Målbergrunden

Det är alltså tillgången till basiska eller ultrabasiska bergarter som är nyckeln till att kunna laka ut katjoner så som kalcium, magnesium och järn. Dessa är nödvändiga för att bilda karbonaterna kalcit, magnesit och siderit.

Island består till 80–85 procent av basalt. Det finns två huvudtyper: lava

som runnit ut på land och lava som har kommit ut i vatten.

Lavaflöden som rinner ut på land stelnar dels från ytan, dels från botten, där det första går snabbast. De inre delarna svalnar långsammare och avsvlningshastigheten beror på lavaflödets tjocklek.

I de fall basalten oftast innehåller gas så bildas bubblor i lavan. Denna porositet ger utrymme för sekundära mineral. Lavar som finns på ytan har ofta ofyllda håligheter, men djupare ner så börjar dessa snabbt fyllas med sekundära mineral (bild 2).

Lava som rinner ut under vatten stelnar mycket snabbt och ofta bildas en stor mängd basaltiskt glas. Själva lavan kan få ett flertal utseenden: till exempel kuddlava, kuddbreccia eller hyaloklastit, vilket innebär fragmentering av olika grad (bild 2). Det senare uppstår i de fall lavan kommer i kontakt med vatten och då gastrycket i lavan är större än det hydrostatiska trycket. Genom denna process bildas stora mängder av vulkaniskt glas. Detta glas blandas med lavafragment, som ofta är mycket små, och bildar en hyaloklastit.

Hyaloklastit avsätts vanligtvis nära vulkankratern genom sedimentation. Den innehåller därför ofta sorterad lagring och korsskiktning.



Bild 3: Bilden visar en av de enheter som samlar in koldioxid. Denna blandas sedan med vatten till bubbelvatten vilket pumpas ner i basalten under kraftverket Hellisheiði. Enheten på bilden har en kapacitet av 50 ton koldioxid per år. Bilden kommer från Climeworks.



Det basaltiska glaset är dock instabilt, och urlakning och omvandling börjar relativt omgående efter bildningen. Processen då basaltiskt glas omvandlas och sekundära mineral bildas kallas palagonitisering. Den resulterande bergarten ges ofta namnet palagonit men kan även kallas hyaloklastit. Palagonitisering av basaltiskt glas kan gå så snabbt som på några år. Omvandlingshastigheten beror främst på fuktigheten och temperaturen.

Mineralinnehållet i en basalt domineras av olivin, pyroxen och plagioklas. Och i lavar som runnit ut i vatten finns också stora mängder av basaltiskt glas. Snabbast att reagera med omgivningen är glaset. Sedan kommer olivin och pyroxen, och långsammast är plagioklas.

Det går lättast att frigöra kalcium, magnesium från det vulkaniska glaset, så närvaron av hyaloklastit gör att processen är mer effektiv. Kristallin basalt fungerar också bra.

Nästan 100 procent av den koldioxid som pumpas ner vid anläggningen i Hellisheiði binds i nybildade

karbonatmineral. Och man har observerat att detta händer mer eller mindre direkt. Efter ett till två år har all koldioxid blivit förbrukad och bundits i fasta mineralfaser.

Koldioxidneutral kraft

Kraftverket Hellisheiði ligger omkring 40 km öster om Reykjavik. Då det blåser östliga vindar drev tidigare ångan in mot Reykjavik.

Koldioxiden som kom med ångan var inget större problem men svavelväte! Detta var inte alls populärt på grund av lukten av ruttna ägg eller vulkanprutt. Bland annat silversmederna klagade eftersom deras varor blev svarta direkt.

Man kompletterade då projektet CarbFix med projektet SulFix för att göra något åt svavelvätet. Platsen i berggrunden där man kan binda svavel i fasta faser ligger djupare och är varmare än nivån för koldioxidfixering. Men till forskarnas stora lycka kunde dessa två kombineras eftersom karbonater bildas vid samma förhållanden som också binder svavel främst i pyrit (FeS_2).

Ovan: Vattnet som pumpas ner i den basaltiska berggrunden vid Hellisheiði prepareras i en gigantisk Sodastream där den geotermiska ångan blandas med vatten och olösliga gaser avskiljs. Det är koldioxid och svavelväte som löses upp i vattnet och som sedan pumpas ner i berggrunden. Det har då ett tryck på 8 bar vilket kan jämföras med en champagneflaska som har ett tryck på 6 bar.

Till att börja med var strategin att framställa ren koldioxid genom att avskilja alla andra vulkaniska gaser. Detta visade sig dock vara mera komplicerat än vad man hade föreställt sig eftersom närvaron av svavel vållar problem då svavel kan bilda svavelsyra. Denna korroderar anläggningen mer eller mindre omgående.

Dessutom är processen mycket energikrävande och att extrahera ren koldioxid konsumerar omkring en tredjedel av kraftverkets produktion. En anläggning som korroderar på nolltid tillsammans med hög energikonsumtion gjorde att man övergav denna strategi. Nu pumpar man i stället ner en blandning

På Island finns en maskin som suger koldioxid ur atmosfären.



Och just nu står du vid en av alla de pantmaskiner som förra året sparade 180 000 ton koldioxid.

Tack för att du pantar!



som består av 75 procent koldioxid, 24 procent svavelväte och 1 procent övriga gaser.

Kraftverket Hellisheiði släpper ut 40 000 ton koldioxid per år. Berggrunden i närheten har en kapacitet att ta emot denna mängd koldioxid de kommande 200 åren.

I nuläget är det endast en bråkdel av koldioxiden som tas till vara och pumpas ner. När man började 2013 så pumpades 1200 ton koldioxid per år tillbaka ner i berggrunden. Nu i augusti 2020 planerar man att öka detta till 4000 ton koldioxid per år. För varje ton koldioxid krävs det att 28 ton vatten går in i sodastream-anläggningen.

Basalt har visserligen en stor lagringskapacitet men det går åt stora mängder vatten. Då är Island ett perfekt land eftersom där finns både vatten och basalt i riklig mängd.

Nästa steg är att ta reda på om det fungerar lika bra med havsvatten. Därför pågår nu forskning inom detta fält och om det lyckas så har metoden en gigantisk potential, eftersom det finns mycket havsvatten och basaltisk havsbotten.

Framtiden

Om man ska nå klimatmålen med maximalt 1,5 graders temperaturhöjning så måste mera till. Man behöver även samla in koldioxid direkt från

Till vänster: Under hösten, då vi skrev på den här artikeln, så passerade vi Coop i Landala i Göteborg och såg Pantameras propaganda som lyfter fram succén med koldioxidlagring på Island. Personalen på Coop hade vänligheten att ge oss en affisch. Notera att bilden visar ett geotermiskt borrhål i produktion, inte en koldioxidinsamlare. Men det finns sådana vid samma ställe, se bild 3.

atmosfären. Denna metod går under namnet "Direct Air Capture and Storage" eller DACS.

Inom CarbFix-projektet har man börjat med en experimentell verksamhet som går under namnet CarbFix2 i samarbete med företaget Climeworks i Schweiz (www.climeworks.com). Climeworks har utvecklat en maskin där man kan fånga in koldioxid direkt från luften. Denna är sedan kopplad till sodastream-processen som tillverkar bubbelvatten, och tillsammans med Hellisheiði-kraftverkets koldioxid pumpas allt ner i basalten.

Climeworks koldioxidsamlingsenheter (bild 3) har en årlig kapacitet av 50 ton koldioxid. Just nu finns två sådana igång vid Hellisheiði och en prototyp av en ny enhet har just blivit lanserad. Dessutom vill man testa sodastream-metoden med upplöst koldioxid i vatten i Turkiet, Italien och Tyskland i annan berggrund (kalksten, granit, gnejs och sedimentära bergarter). Vi håller tummarna för att även detta blir en succé! ♦

Läs mer

Berger, B. & Eiken, O. 2007. Lagring av CO₂ i berggrunden. Geologiskt forum 55, 20–22.

Sturkell, E. 2007. Det heta Island. Geologiskt forum 55, 26–29.



Erik är professor vid Institutionen för geovetenskaper, Göteborgs universitet. Gabrielle är lektor i geokemi vid Islands universitet och disputerade inom CarbFix-projektet.
✉ erik.sturkell@gvc.gu.se

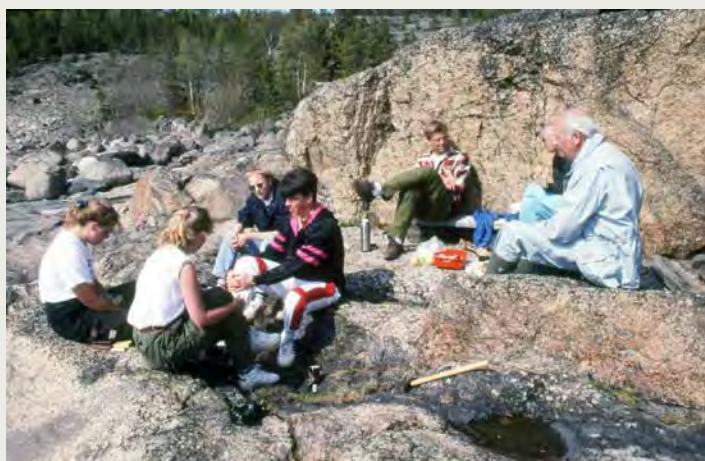


FOTO: THOMAS LUNDOVIST.



FOTO: THOMAS LUNDOVIST.

Minnesord

Bengt Loberg

Vår vän och kollega docent Bengt Loberg avled i somras i en ålder av 92 år. Närmast sörjande är makan Gunnel, dottern Mia och sonen Markus med familjer.

BENGT UTBILDADE SIG inom kemi och geologi vid Stockholms universitet och där disputerade han i geologi 1962. Efter disputationen utsågs han till docent vid Stockholms universitet. 1973 anställdes han som universitetslektor vid Avdelningen för ekonomisk geologi vid dåvarande Tekniska Högskolan i Luleå och avgick med pension 1993. Under åren 1982–1984 var han tillförordnad professor och ämnesföreträdare vid avdelningen.

För Bengt var en fyra veckor lång exkursion till italienska vulkanområden 1962 en viktig milstolpe i

den geologiska karriären. Här deltog många blivande kollegor och även makan Gunnel. Året efter exkursionen disputerade Bengt på avhandlingen *The Formation of a Flecky Gneiss and Similar Phenomina in Relation to the Migmatite and Vein Gneiss Problem*, publicerad i Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, volym 85.

Materialet för Bengts avhandling var hämtat från skärgården sydost om Västervik, men dessutom gjordes en jämförande studie av s.k. "cigarrleptit" från Bergslagen. En kommentar som fälldes om Bengts arbete var

det märkliga i att man kunde dokumentera på ett så litet stenmaterial att detsamma kunde rymmas i en hink. Att detta ändå var möjligt förklaras av följande tre förhållanden.

Bengt gjorde synnerligen noggranna undersökningar när det gällde mikroskopi, kemiska sammansättningar och strukturella förhållanden hos fläckgnejsen. Vidare anknöt han fläckbildningsprocessen till gällande kemiska, mineralogiska och petrologiska teorier. För det tredje kunde Bengts studier av "det lilla" (jfr materi-



Längst t.v.: Bengt på 1990-talet i sitt tjänsterum på Luleå Tekniska Högskola.

Överst t.v.: Bengt (till höger i bild) lunchar med studenter från Luleå vid Bönhamn under exkursion till Nordingrå 1992.

Underst t.v.: Bengt (t.h.) med Jan Lundqvist vid exkursion till Svartlöga sommaren 1958.

Ovan: Bengt (t.v.) vid exkursion till Oslofältet sommaren 1958. I mitten Henno Nairis, till höger nacken på Gösta Armands.

alet i hinken) appliceras på och förklara ”det stora”, dvs. belysa bergartsbildande processer i regional skala.

Vid Stockholms universitet undervisade han geologistudenter från grundkursnivå och upp till och med tre-betygsnivån. Exkursioner och fältkurser, bl.a. i Västervikstrakten som han var väl förtrogen med, ingick också i arbetsuppgifterna.

När man som ung student steg in i Bengts tjänsterum kände man genast respekt för hans gedigna fackkunskap och noggrannhet. På det stora skrivbordet stod institutionens mest avancerade polarisationsmikroskop, och bakom glasörrar till vänster sågs praktexemplar av mineral och kristaller. Det var i denna anrika miljö på Kungstengsgatan 45 som Bengt utbildade blivande geologer, men ämnesmässigt var steget inte långt då han 1973 flyttade och tog sig an bergsteknologerna vid den nybyggda Tekniska Högskolan i Luleå.

Bergs- och civilingenjörsutbildningen Geoteknologi startade vid dåvarande Tekniska Högskolan i Luleå hösten 1972. Det betydde att den gruvinriktade bergsingenjörsutbildningen flyttade från KTH i Stockholm till Luleå. Då behövdes

en erfaren pedagog för att bygga upp geologiundervisningen.

Bengt utvecklade kurser i grundläggande geologi, petrologi och mikroskopi, kurser vilkas struktur fortfarande används. Denna roll passade Bengt väl. Det var här han först publicerade sin grundläggande bok i geologi: *Geologi, material, processer och Sveriges berggrund*. Boken blev ett viktigt bidrag till utbildningen inom geologi, och inte enbart i Luleå utan vid alla lärosäten i Sverige. Den första upplagan trycktes 1973 och sammanlagt utkom sex upplagor på Norstedts eller närstående förlag. Den sjätte upplagan utgavs till och med tre gånger, vilket avspeglar dess betydelse för svensk geologi. Från och med den femte upplagan medverkade Naz Ahmed Shaikh med ett kapitel om industriella mineral och bergarter.

Bengt Loberg var en utmärkt föreläsare både i lektionssalar och i andra sammanhang. Han hade förmågan att entusiasmera åhörarna och väcka deras intresse för geologi, och han var en omtyckt lärare. Hans pedagogik var traditionell men mycket välfungerande med en effektiv blandning av föreläsningar, övningar, laborationer och fältövningar. Ibland kunde han förhöra teknologerna i klassrummet för att se om de ansträngde sig och läste litteraturen. Förhören skedde då i förutsägbar ordning så att var och en visste när det var dags. Många bergsingenjörer på framskjutna positioner i näringsliv och samhälle har nog bävat lite i väntan på sin tur att svara på frågor.

Bengt har genom sina föreläsningar och böcker utbildat flera generationer

av geologer och bergsingenjörer i Sverige. Hans saklighet och förmåga att ge grunderna i geologiämnet har varit mycket betydelsefulla för geologiutbildningen i vårt land.

Bengt hade ett brinnande intresse för kultur. Detta intresse gjorde att han bland annat fördjupade sig i kopplingen mellan Bibeln och geologiska skeenden. Han skrev fyra essäer i boken *Syndafloden och verkligheten*, utgiven 1980 på Norstedts förlag. Här visar geologen och pedagogen Bengt Loberg på ett mycket intresseväckande sätt hur geologiska processer kan förklara och ge bakgrunden till en del av Bibelns berättelser.

När Nationalencyklopedin utgavs 1989–1996 gjorde Bengt en viktig insats som ansvarig för allmän geologi, och han skrev själv en rad bidrag.

Bengt Loberg var en stor vän av klassisk musik. I Luleå blev han bekant med sällskapet ”Les Six”, där han blev en av medlemmarna. Les Six är en grupp som träffas en gång i månaden för att lyssna och gissa på god musik samt inta en vällagad middag. Gissningar hemma hos Bengt omfattade välstrukturerade program, vilka visade på hans stora kunskaper inom den klassiska musiken. Hustru Gunnel bidrog med den inte minst viktiga middagsmaten.

Vid sällskapets musikgissningar gäller vissa regler som man inte överskrider utan att straffas, men den alltid korrekt uppträdande Bengt kunde i sällskapetslivet kosta på sig ett litet avsteg ... Vid ett tillfälle överskred han avsiktligt en sådan regel, men hade i förväg inhandlat en flaska champagne till gästerna för att sona sitt brott. Hela 24 välfyllda gissningsprogram hann Bengt genomföra innan han och Gunnel efter pensioneringen flyttade ner till Västervik. Där fortsatte Bengt att odla sitt musikintresse i ett par andra sällskap.

Vi är många geologer och bergsingenjörer som kommer att minnas Bengt, och vi står i tacksamhetsskuld till honom för det han har betytt såväl för svensk geologi som för oss personligen. ♦

Lennart Widenfalk, Björn Öhlander, Thomas Lundqvist och Anders Holmqvist



Ny kurs i tillämpad fältprospektering

Vid Luleå tekniska universitet har vi, i samarbete med Boliden Mineral och med stöd av EIT RawMaterials, utvecklat en ny fältkurs med fokus på prospektering efter vulkanogena massiva sulfidmalmer (VMS).

Kursen togs ursprungligen fram 2019 som en del av utbytesprogrammet EXpLORE (www.explore.edu.pl).

Till den första kursen samlades studenter från fyra universitet inom EU i ett fältområde i Skelleftefältet, och utförde berggrundskartering med fokus på strukturgeologi, stratigrafi, vulkanologi och omvandling.

Förutom studenterna deltog även geologer från Boliden Mineral. I varje karteringsgrupp ingick en Bolidengeolog och en student från varje lärosäte för att maximera kunskapsutbytet. Förutom kartering fick studenterna prova på geofysiska mätningar tillsammans med GeoVista AB (slingram, markmag, IP), och att kartera en borrhärna från fältområdet vid SGU:s arkiv i Malå.

På kvällarna fick vi sällskap av gästföreläsare från SGU och olika företag som berättade mer om sitt arbete och fältarbetets roll vid prospektering.

Geologin i fältområdet är optimal på så vis att man genom att utföra karteringen och tillämpa en klassisk VMS-modell kan peka ut var en mineralisering borde finnas. Uppgiften var således att integrera all information för att avgränsa ett målområde för provborrning. I och med att Boliden tidigare har provborrat området kan vi sedan få ett facit. På så vis simulerar kursen ett klassiskt arbetsflöde i en prospekteringsinsats.

I och med rådande pandemi fick kursen under 2020 flytta in i virtuell miljö via verktyget Canvas. Där har vi kunnat erbjuda liknande övningar med fotogrammetriska modeller av hållar, 360-gradersvyer, inspelade fältföreläsningar och litogeokemiska data som underlag för virtuell kartering hemifrån.

Övningen med borrhärnekartering utfördes i samarbete med Orexplore, och nyttjade en av Bolidens borrhärnor som scannats med deras prisbelönta röntgenteknologi.

Från och med 2021 flyttar kursen in som sommarkurs vid LTU, och är därigenom sökbar för alla behöriga studenter vid Sveriges geologiutbildningar. Om situationen tillåter kommer vi att integrera de klassiska fältövningarna med de nya online-resurserna i Canvasrummet för ett maximerat lärande.

Kursen ges under juni 2021 och sista sökdatum är mars 2021.

Läs mer på www.ltu.se/edu/course/O70/O7023K/O7023K-Tillampad-faltprospektering-1.202443 eller följ qr-koden. ♦



Nils Jansson och Tobias Bauer är biträdande professorer i malmgeologi vid Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser vid Luleå tekniska universitet.

✉ nils.jansson@ltu.se

Tack och hej!

Efter fyra år och en andra sejour som ordförande för Geologiska Föreningen är det dags för mig att säga hej då till styrelsen. Men jag fortsätter så klart som en aktiv medlem.

Nästa år fyller föreningen 150 år. Det är en aktningsvärd ålder och innebär att vi troligen är en av de äldsta nu aktiva föreningarna i landet. Vår historia är stark förknippad med den industriella utvecklingen och med geologins utveckling som en självständig naturvetenskap.

Föreningen har också i stora stycken utvecklats parallellt med Sveriges geologiska undersökning (SGU) och relationen mellan föreningen och SGU har under tidigare år varit mycket stark. Tyvärr har relationen under de senaste åren förändrats och t.ex. saknas idag ett stöd för föreningens verksamhet från landets geologiska myndighet. Min förhoppning är att den tidigare starka relationen mellan föreningen och SGU kan byggas upp igen med en ny ordförande, Emma Rehnström (läs mer om henne i nästa nummer), och SGU:s nya generaldirektör Anneli Wirtén.

Det är för mig självklart att en nationell geologisk förening som verkar för geologin som vetenskap och för geologins betydelse i samhället också bör vara relevant för den nationella geologiska myndigheten. Så från en avgående ordförande, och en tidigare anställd på SGU, är min uppmaning till Emma och Anneli att återupprätta en god relation!

Som sagt, nästa år blir föreningen 150 år och det hoppas vi kunna manifesteras i ett jubileumsmöte i Uppsala. Planen är att genomföra detta 17–19 augusti i samverkan med Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala universitet och just SGU. När detta skrivs härjar den andra vågen av

pandemin som värst och vi kan därför tyvärr inte utesluta att mötet tvingas få någon annan mötesform än det fysiska möte som vi ändå ska försöka få till stånd.

Vår ambition är att jubileumsmötet ska bli en kraftsamling för svensk geovetenskap och locka geologer från såväl geo-institutioner, SGU, gruv- och prospekteringsindustri som konsultbolag och anläggningsindustri. Mötet kommer att ha sessioner inom en mängd olika geovetenskapliga områden och även behandla utbildningsaspekter och geologins roll i samhället.

Boka in dessa dagar för mötet i Uppsala! Mer information kommer att finnas på föreningens nya webbplats och ett andra cirkulär distribueras i januari.

I november genomförde föreningen tillsammans med geosektionen inom Naturvetarna och SGU ett digitalt möte där vi delade ut priser till våra pristagare (se mer i detta nummer). Geosektionen delade ut pris till årets geolog, som också är föreningens nya ordförande, och SGU presenterade forskningsresultat. Vi var närmare hundra personer som deltog och många fick blodad tand. Därför planeras nu fler digitala möten på olika teman. Vi hoppas gemensamt kunna vidareutveckla detta!

Sköt om er och håll distansen, som man numera säger!

Pär Weihed

Avgående ordförande



FOTO: EVA LARSSON

Besök Sickla gruva virtuell

Nu är det möjligt att besöka underjorden utan att behöva ta ett enda steg. Stockholms läns museum har i dagarna lanserat en 360-gradersfilm från Sickla provgruva i Nacka.

Industriområdet med provgruvan är industrihistoriskt viktig och ett exempel på framväxten av det moderna industrisamhället från slutet av 1800-talet. Filmen berättar om bak-

grunden till provgruvan och besöker olika tidsepoker och nivåer ända ner till fyrtio meter under marken.

Gruvan är en udda miljö som fortfarande är i bruk. Det är ett charmigt virrvarr av borrhål och gamla och nya maskiner som speglar en betydelsefull svensk industrihistoria, enligt Eva Larsson som är projektledare och producent för filmerna.

Sedan i våras kan man inte längre besöka gruvan och därför tyckte museet att det fanns anledning att göra en digital vandring istället. Filmerna har producerats tillsammans med Film Stockholm med stöd av Länsstyrelsen Stockholm.

Du kan ta del av filmerna via bildskärm, VR-headset eller din smartphone. Gå in på youtu.be/iwxoq3zvpcs eller följ qr-koden för att titta på filmen. ♦



Film visar geologi längs Förbifart Stockholm

SGU har tagit fram ett kort videoklipp som visualiserar geologin längs sträckningen av Förbifart Stockholm.

Klipppet illustrerar de geologiska förhållandena längs Trafikverkets pågående projekt Förbifart Stockholm, och har tagits fram med hjälp av SGU:s 3D-visare. Bland underlagen som ingår i 3D-modellen finns borrhålsdata som tagits fram av konsulter, SGU:s geologiska information och Stockholms stads stadsmodell.

Följ qr-koden för att titta på filmen eller gå in på www.sgu.se/om-sgu/nyheter/2020/augusti/film-visar-geologi-langs-forbifart-stockholm/ ♦



POSTTIDNING B
Geologiska Föreningen
c/o Tellurit AB
Storgatan 11
972 38 Luleå

Geologiska Föreningen tackar sina sponsorer för 2020

Platinasponsorer



UPPSALA
UNIVERSITET



Stockholms
universitet

Institutionen för geologiska vetenskaper
Institutionen för naturgeografi

LULEÅ
TEKNISKA
UNIVERSITET

Guldsponsorer

BOLIDEN



LUNDS
UNIVERSITET

LKAB



KAUNIS IRON



Zinkgruvan Mining
a subsidiary of **lundin mining**



GÖTEBORGS UNIVERSITET



Gnejs tillhörande den
1,66–1,59 miljarder år gamla
Stora Le-Marstrandsforma-
tionen på södra delen av
Marstrandsön.