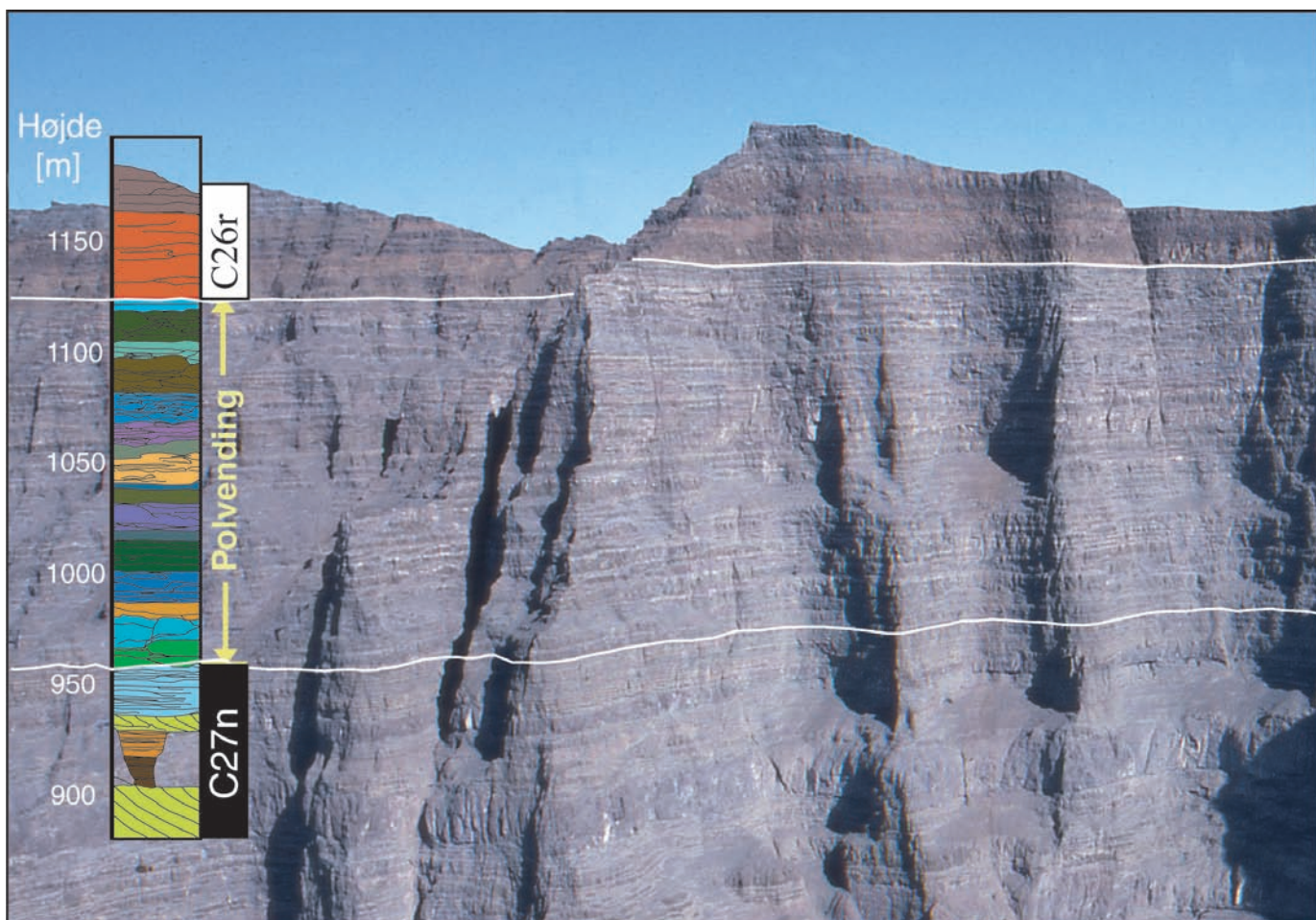


Er polvendingen nær?

- sandsynligheden palæomagnetisk set



Fotografi af Nuussap Qaqqarsuas bjergside på Nuussuaq i Vestgrønland, hvor en lavasekvens har optaget en 60 millioner år gammel palæomagnetisk polvending. Polvendingsskivens er 170 meter tyk og består af 63 lavastrømme. Det er den mest detaljerede polvendingsoptagelse i lavastrømme, der til dato er fundet på vores planet. (Foto: Asger Ken Pedersen)

Af Carlsbergstipendiat Peter Riisager, GeoBiosphere Science Centre, Lund samt Geologisk Museum Københavns Universitet, Lovisa Zillén og Lektor Ian Snowball, GeoBiosphere Science Centre, Lund

Jordens magnetfelt er aftaget 10 procent over de sidste 170 år. Nye målinger fra blandt andet den danske Ørsted-satellit viser, at de magnetiske poler nu flytter sig ca. 50 km om året. Men er det usædvanligt hurtigt? Nogle forskere mener ja. De tolker ændringerne som tegn på, at Jordens magnetfelt er på vej mod en polvending (se Peter Staunings artikel i GeologiskNyt nr. 5, 2004).

I denne artikel argumenterer vi for, at sandsynligheden for en forestående polvending

bedst vurderes på baggrund af et længere tidsperspektiv, og at palæomagnetiske data er afgørende. Set fra en palæomagnetisk synsvinkel, er sandsynligheden for en nært forestående polvending faktisk lille.

Polvendinger

Jordens magnetiske nord- og sydpoler har byttet plads et utal af gange. Polvendinger finder sted i gennemsnit hvert 100.000 år med den foreløbigt sidste polvending for 780.000 år siden. Der er ingen systematik i, hvornår polvendinger finder sted, så man kan ikke sige noget om sandsynligheden for en ny polvending baseret på, hvornår den sidste fandt sted. Selve polvendingerne er geologisk set kortvarige begivenheder på 3.000-5.000 år. Det lyder umiddelbart af meget, men i en geologisk tidsramme er det meget hurtige begivenheder.

Præcist hvordan Jordens magnetfelt opfører sig under polvendinger, er endnu ikke

klarlagt. Polvendingernes konsekvens for livet er derfor ikke kendt i detalje. Hvad, vi ved, er, at magnetfeltet er hurtigt-ændrende og stærkt nedsat under polvendinger, og at den magnetiske afskærmning derfor også er nedsat. Den intense stråling af ladede partikler, der konstant strømmer mod Jorden fra solvinden og andre dele af verdensrummet, vil derfor have en let adgang til Jordens atmosfære, hvor ozonlaget sandsynligvis vil nedbrydes. Jorden vil desuden opleve kolossale magnetiske storme, der opstår, når solvinden møder Jordens magnetfelt. Det er mere uklart, hvorledes andre dele af Jordens atmosfære vil påvirkes af det midlertidige ophør af magnetfeltet. Men kigger man i de geologiske arkiver, er der tegn på mindre klimaændringer og uddøen af forskellige plantearter ved polvendinger.

En af grundene til, at polvendinger er interessante, er kombinationen af ødelæggelse, og det at de sker så hurtigt. Tidsskalaen for

de fleste geologiske processer, så som pladetektonik og polvandring, er meget længere end vores historiske tidsskala. Nulevende og nærmest kommende generationer behøver derfor ikke at bekymre sig om ændrede livsbetingelser på den baggrund. Med geologiske fænomener som polvendinger, ekstrem vulkanisme, meteornedslag og klimaændringer er det anderledes. Her er der tale om naturlige geologiske fænomener, der kan ske "geologisk set" meget hurtigt og derfor have indflydelse på vores fremtid i en historisk overskuelig fremtid.

Selvom polvendinger ikke sker særligt ofte, så sker de dog, og der er altid en reel mulighed for, at næste polvending er på vej. Men hvordan kan vi bedst vurdere sandsynligheden? Winston Churchill sagde: "The farther backward you can look, the farther forward you are likely to see". Citatet er naturligvis møntet på menneskehedens historie, men ikke desto mindre brugbart også for studier af Jordens geologiske fortid/fremtid. Heldigvis har vi en videnskabelig metode til at bestemme Jordens magnetfelt langt tilbage i den geologiske fortid. Det er baseret på dette arkiv over tidligere magnetfeltsændringer, at vi bedst kan vurdere sandsynligheden for en forestående polvending.

Palæomagnetisme

Det er via palæomagnetiske data, at vi ved, at Jordens magnetiske nord- og sydpoler bytter plads. Baggrunden for palæomagnetisme er, at stort set alle bjergarter indeholder magnetiske mineraler, der kan optage og gemme en magnetisering. Når bjergarter dannes, optager de derfor det omgivende magnetfelt. Afhængigt af de magnetiske mineralers kornstørrelse og sammensætning kan geologiske prøver gemme deres oprindelige magnetisering i milliarder af år. I praksis slettes dele af den oprindelige magnetisering dog, når bjergarter udsættes for forvitring, varme og kemiske omdannelser.

En hel videnskab, kaldet "palæomagnetisme" beskæftiger sig med metoder til at indsamle geologiske prøver og læse deres fossile magnetisering. Man kan sige, at palæomagnetikere forsøger at læse det naturlige arkiv over Jordens tidligere magnetfelt, som er gemt i geologiske prøver. Med avancerede teknikker har det vist sig muligt at isolere den oprindelige magnetisering (palæomagnetfeltet) fra stort set alle typer af bjergarter.

Palæomagnetiske optagelser

I 1960'erne blev det endeligt klart, at Jor-

dens magnetiske poler bytter plads. Palæomagnetikere har efterfølgende "higet og søgt i gamle prøver" for at finde optagelser af polvendinger. Indtil videre er der fundet ca. 30 serier af lavastrømme, hvor magnetfeltet under fortidige polvendinger er blevet optaget. Desværre er langt hovedparten af optagelserne mangelfulde og udetaljerede, hovedsageligt fordi polvendinger sker for hurtigt i forhold til, hvor lang tid det typisk tager at danne de bjergarter, der kan optage Jordens tidligere magnetfelt.

Vi har haft det held på Vestgrønland at finde den hidtil mest detaljerede optagelse af en polvending (foto på foregående side). Vores held bestod i, at polvendingen var sammenfaldende med en usædvanligt voldsom vulkansk aktivitet, der fandt sted for 60 millioner år siden. Dengang blev et område af Vestgrønland på størrelse med Danmark dækket af en 5-8 km tyk serie af lavastrømme i forbindelse med dannelsen af den kæmpemæssige nordatlantiske magmatiske provins (forklaring i boksen nedenfor). Den palæomagnetiske optagelsesfrekvens er derfor uhørt høj, således at en næsten 200 meter tyk serie af lavastrømme blev dannet samtidig med polvendingen.

Baseret på flere feltsæsoner med meget

Den nordatlantiske magmatiske provins

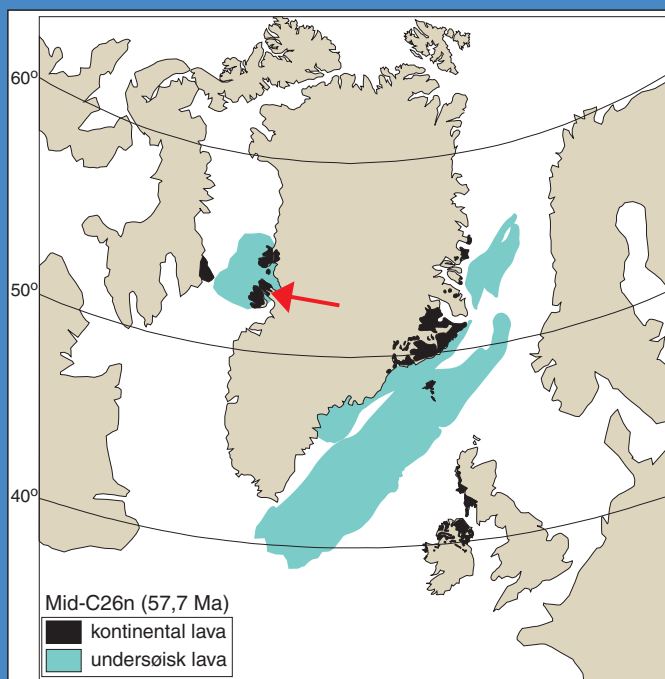
Midt i 1980'erne opstod nye og bedre geokronologiske metoder. Det blev vist, at store magmatiske provinser som den nordatlantiske (ses på figuren til højre) dannes i løbet af få millioner år. Meget hurtigere end tidligere troet. Der har siden været stor interesse for provinserne og specielt det at forstå, hvordan de dannes. En så voldsom vulkansk aktivitet kan nemlig ikke forklares via normale pladetektoniske processer – faktisk var det en stor overraskelse, at pladetektonik, der anses som en af de mest succesfulde naturvidenskabelige teorier, ikke fuldstændigt forklarer vor planets geologiske udvikling. Bedre geokronologiske data fra de store magmatiske provinser bragte også en anden interessant opdagelse; nemlig den tidlige sammenhæng mellem vulkanismen og perioder med masseuddøen.

Beviserne vejer tungere og tungere, for at ekstrem vulkanisme i de magmatiske provinser har spillet en afgørende rolle ved masseuddøen (også ved dinosaurernes uddøen ved Kridt-Tertiærgrænsen). Den Nordatlantiske magmatiske provins falder ligeledes sammen med en masseuddøen. Det drejer sig om Palæocæn-Eocæn tidsgrænsen, hvor der skete store omvæltninger for Jordens plante- og dyreliv. Det er blevet foreslået, at vulkanske drivhusgasser (CO_2 og CH_4) var årsagen til den globale opvarmning, der fandt sted den-

gang med veldokumenterede havtemperaturstigninger på 8°C over få tusinde år.

For palæomagnetiske studier af polvendinger er de store magmatiske provinser også meget interessante. Her finder vi det, vi har brug for: Mange lavastrømme der dannes meget tæt på hinanden i tid.

Eller med andre ord: Palæomagnetiske optagelser med høj tidslig opløsning. Vores vestgrønlandske palæomagnetiske polvending blev først opdaget på Nuussuaq-halvøen ved et bjerg, der hedder Nuussap Qaqqarsua. Da polvendingen fandt sted, var vulkanismen mindst 10 gange voldsommere, end hvad vi kender fra de nutidige mest aktive vulkanske centre på Hawaii og Island. Sekvensen af lavastrømme, der optager polvendingen, er med sine 63 lavastrømme og 170 meters tykkelse den tykkeste palæomagnetiske polvending, der endnu er fundet i lavastrømme (foto af lavasekvensen er vist på det allerførste foto). Ved at studere henfaldet af radioaktive isotoper (^{40}K til ^{40}Ar) er lavaerne dateret med høj præcision til en alder på 60,4 millioner.



Palæomagnetisk rekonstruktion af den nordatlantiske magmatiske provins som den så ud for ca. 57 mio. år siden. Den røde pil viser hvor polvendingen er fundet i Vestgrønland. (Grafik: Forfatterne)

detaljerede palæomagnetiske indsamlinger har vi kunnet bestemme en unik optagelse af Jordens magnetfelt før, under og efter en polvending (figuren til øverst højre). Hvad, der i denne sammenhæng er den mest interessante observation, er, at polvendingen først fandt sted efter en længere periode med reduceret dipolmoment (figuren neden under på denne side). Samme observation er også gjort for andre palæomagnetiske polvendinger. Jordens nuværende dipolmoment på $80 \times 10^{21} \text{ Am}^2$ er faktisk 3-4 gange stærkere end dipolmomentet før den magnetiske polvending observeret i de vestgrønlandske lavaer. Jordens magnetfelt skal altså aftage betydeligt mere, inden vi når ned på et niveau, der svarer til feltet forud for den vestgrønlandske polvending.

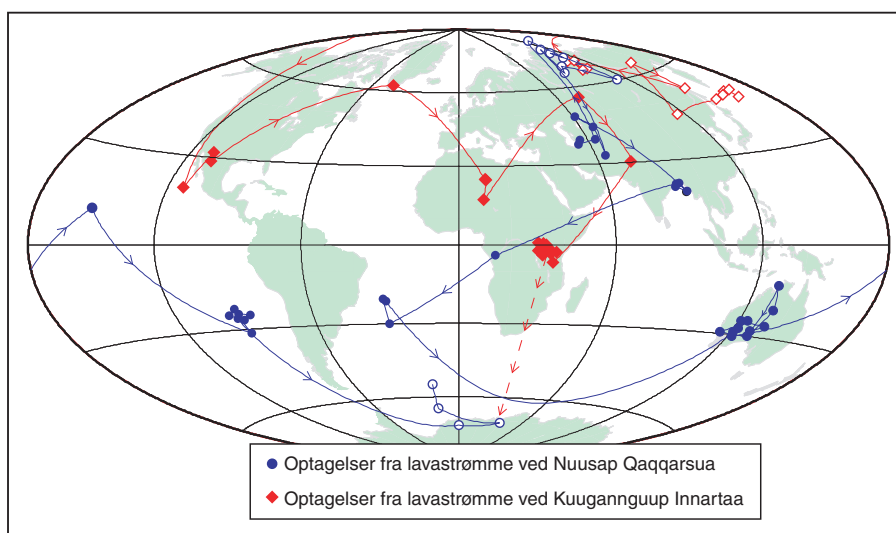
Holocæne feltændringer

Arkæomagnetisme er en underdisciplin af palæomagnetisme. Som man sikkert kan gætte ud fra navnet, drejer det sig om palæomagnetiske undersøgelser af arkæologiske objekter. Når arkæologiske materialer (mursten, tegl, keramik og deslige) brændes, optager de det omgivende magnetfelt præcis på samme måde som geologiske prøver. Baseret på arkæomagnetiske undersøgelser publicerede franske forskere i 2003 data, der viser, at Jordens magnetfelt periodevis ændrer sig meget hurtigt. De navngav de hurtige felt-ændringer "archeomagnetic jerks" – et udtryk der er svært at oversætte uden at miste dobbelttydigheden. Vi vil derfor i det følgende bruge den fordanskede oversættelse "arkæomagnetiske jerks". Arkæomagnetiske jerks har fundet sted 3 gange inden for de sidste 3.000 år, omkring 800 BC, 200 AD og 1.400 AD.

Baseret på palæomagnetiske undersøgelser af skandinaviske søsedimenter med årlige varv (se boksen på næste side) har vi siden understøttet eksistensen af arkæomagnetiske jerks. Vi ser de samme arkæomagnetiske jerks omkring 800 BC, 200 AD og 1.400 AD, og 3-4 holocæne arkæomagnetiske jerks, der går forud for de arkæologiske optagelser (figuren nederst på næste side). De nuværende hurtige ændringer af Jordens magnetfelt synes derfor ikke at være noget unikt fænomen. Det er allerede sket flere gange inden for den holocæne periode.

Er polvendingen nær?

En nært forestående polvending ville forbedre jobmulighederne for artiklens forfattere. Desværre er det vores overbevisning, at sandsynligheden for en forestående polvending er mindre end fremført i blandt andet danske medier. Som beskrevet ovenfor er hurtige ændringer af Jordens magnetfelt, som dem vi ser i dag, almindelige. I den holocæne periode (det vil sige de sidste 11.500 år) har tilsvarende hurtige feltændringer fundet sted i hvert fald 4-5 gange. Palæomagnetiske observationer af magnetfeltet forud for tidligere polvendinger viser desuden et magnetfelt, der i en lang periode (ca. et par



Positionen af den palæomagnetiske sydpol under polvendingen som optaget i to uafhængige Vestgrønlandske lavasekvenser. Den nutidige position af kontinenterne er vist som reference. Åbne symboler er fra polvendingen, mens lukkede symboler repræsenterer magnetfeltet før og efter polvendingen. (Grafik: Forfatterne)

tusinde år) var mindre en halvdelen af det nuværende magnetfelt. Det nutidige magnetfelt er altså meget anderledes end magnetfeltet forud for tidligere polvendinger.

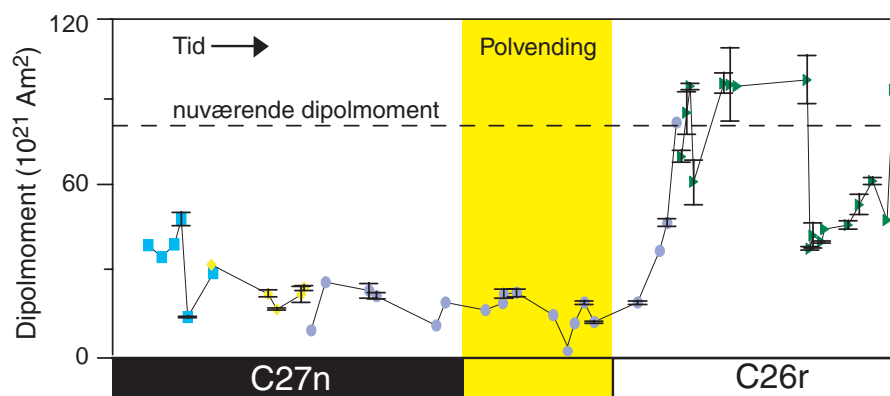
De nuværende hurtige ændringer af Jordens magnetfelt svarer sandsynligvis til en arkæomagnetisk jerk. Fortsætter magnetfeltetsændringerne, vil det kunne få betydning for rumvejret og muligheden for magnetiske storme – at magnetiske storme kan være skadelige, oplevede Sverige så sent som den 30. oktober 2003, hvor en magnetisk storm medførte strømafbrydelser i en time i Malmø.

Med magnetiske storme følger desuden nordlys: "Jeg skuede, og se, et stormvejr kom fra nord, og en vældig sky fulgte med, omgivet af stråleglans og hvirvlende ild, i hvis midte det glimtede som funklende malm" (Ezekiels Bog, Kapitel 1 vers 4). Kan det tænkes, at Ezekiels bibelske observation af et himmelsk lys, i hvad der nu er det sydlige Irak, var nordlys? Hans observation fandt sted omkring 800 BC, netop som en arkæomagnetisk jerk fandt sted, og den magnetiske nordpol befandt sig tættere på Irak end ved nogen anden tid i den holocæne periode (figuren nederst på næste side).

Selvom nutidige ændringer af Jordens magnetfelt ikke nødvendigvis er tegn på en nært forestående naturkatastrofe af bibelske dimensioner, så er der altså alligevel en mulig forbindelse til bibelens skrifter.

Litteratur:

- Gallet, Y., Genevey, A. & Courtillot, V., *On the possible occurrence of 'archaeomagnetic jerks' in the geomagnetic field over the past three millennia*, *Earth and Planetary Science Letters*, 214, 237-242, 2004.
- Riisager, P. & Abrahamsen, N., *Palaeointensity of West Greenland Palaeocene basalts: asymmetric intensity around the C27n-C26r transition*, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 118, 53-64, 2000.
- Riisager, J., Riisager, P. & Pedersen, A.K., *The C27n-C26r geomagnetic polarity reversal recorded in the West Greenland flood basalt province: How complex is the transitional field?*, *Journal of Geophysical Research*, 108(B3), 2155, doi:10.1029/2002JB002124, 2003.
- Snowball, I. & Sandgren, P.

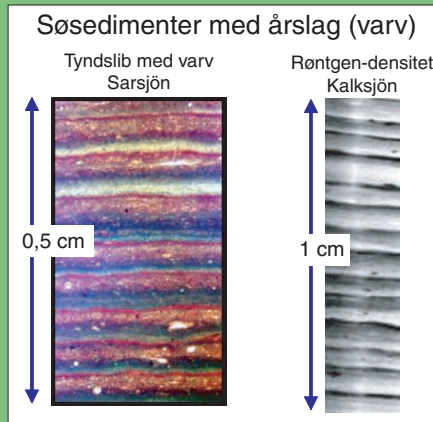


Jordens dipolmoment før, under og efter polvendingen. Data stammer fra et 1,6 kilometer tykt, sammensat profil bestående af lavastrømme. Før polvendingen i perioden (C27n) vendte de magnetiske poler som i dag. Efter polvendingen vendte de modsat (C26r). (Grafik: Forfatterne)

Holocæne søsedimenter med årslag

Den holocæne periode, som vi nu befinder os i, er en relativt varm periode imellem istider. Perioden begyndte for 11.500 år siden, da sidste istid afsluttedes. I starten af den holocæne periode trak isen sig tilbage fra Skandinavien. Området har siden været dækket af søer, der har akkumuleret søsedimenter. De holocæne skandinaviske søsedimenter er interessante for en bred vifte af geovidenskaber.

Specielt interessant er en særlig type søer, der har haft årlig dannelse af stabile springlag og iltsvind ved bunden, således at der er dannet tydeligt laminerede sedimenter. Afhængigt af søtype viser sådanne sedimenter en tydelig og genkendelig struktur i hvert lag (se billede), som ofte kan henføres direkte til søens sæsonvariation i sedimentation af organisk stof, biogent kisel (diatoméer), uorganisk materiale tilført fra omgivelserne og udfældelse af CaCO_3 . Hvis sedimenternes lamination er tydeligt



Eksempler på varv i skandinaviske søsedimenter. (Grafik: Forfatterne)

årstidsbestemt, taler man om varv, hvor hvert varv afspejler ét års sedimentation. Ved at tælle varv kan man datere varvede sedimenter med meget høj præcision, på

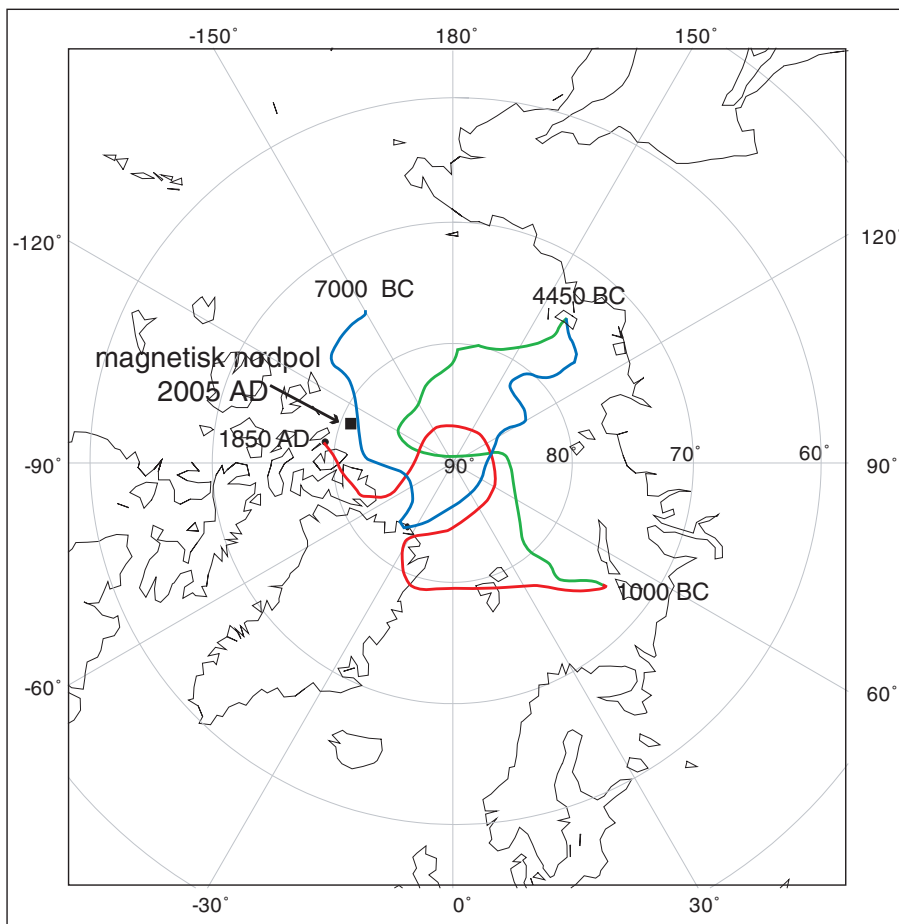
samme måde som man kan datere træ meget præcist ved at tælle årringene. En anden vigtig detalje ved skandinaviske holocæne søer er, at de indeholder magnetotaktiske bakterier, der udskiller det magnetiske mineral magnetit. Magnetotaktiske bakterier bruger magnetitkornene til at bevæge sig langs Jordens magnetiske feltlinier og på den måde holde sig i bunden af søen, hvor de finder deres næring. Når magnetotaktiske bakterier dør, efterlader de deres "skelet" af magnetitkorn, der har en ideel størrelse for palæomagnetiske optagelser - deres fossile magnetisering er meget stabil.

Skandinaviske søsedimenter med årslag er derfor en unik mulighed for at bestemme det holocæne palæomagnetfelt med høj tidslig opløsning og præcision. Ved Lund Universitet arbejder vi med holocæne skandinaviske søsedimenter for bedre at dokumentere arkæomagnetiske jerks.

Geomagnetic field intensity changes in Sweden between 9000 and 450 cal BP: extending the record of "archaeomagnetic jerks" by means of lake sediments and the pseudo-Thellier technique, Earth and Planetary Science

Letters, 227, 361-376, 2004. Zillén, L. 2003. Setting the Holocene clock using varved lake sediments in Sweden, LUNDQUA Thesis 50. Snowball, I.F., Zillén, L. & Sandgren, P. 2002. Biogenic magnetite in Swedish var-

ved lake sediments and its potential as a biomarker of environmental change. Quaternary International, 18, 13-19. På hjemmesiden <http://www.priisager.dk> findes mere information om palæomagnetisme.



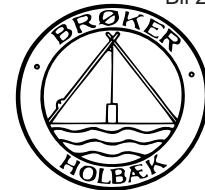
Palæomagnetisk optagelse af Jordens magnetiske nordpol i den holocæne periode (optaget i Skandinaviske søsedimenter). Perioder, hvor den magnetiske nordpol bevæger sig meget hurtigt, kaldes en arkæomagnetisk jerk. De nutidige hurtige ændringer af Jordens magnetfelt svarer muligvis til en arkæomagnetisk jerk. (Grafik: Forfatterne)

BRØNDBORINGSFIRMAET BRØKER I.S.

Kontor og værksted: Telefon 59 44 04 06
Spånebak 7, 4300 Holbæk.
Fax 59 44 69 00

Thomas Brøker, privat 59 44 08 71
Bil 21 42 38 71

Henrik Brøker, privat 59 43 09 94
Bil 23 34 77 01



VORT SPECIALE ER:

BRØNDBORING, rotations- og tørboring.

MILJØBORING, hulsneglsboring med kærneprøveudtagning.

REGENERERING af borer.

PRØVEPUMPNING af borer og kildepladsundersøgelser med avanceret elektronisk udstyr og EDB-behandling.

Vi forhandler GRUNDFOS pumper og vort veludstyrede værksted renoverer Grundfos' vandværkspumper.

Vi leverer og monterer underjordiske GLASFIBERPUMPEBRØNDE af eget fabrikat med udstyr i rustfrit stål tilpasset de aktuelle dimensioner.