

Debat om istidslandskabet - glacial stratigrafi og logik

Af Ib Marcussen og Troels V. Østergaard

Den konventionelle stratigrafi for vores glacielle aflejringer er en kolos på lerfødder, hævdes det i denne artikel, der er et led i den fortsatte debat om bogen "Danmarks Geologiske Seværdigheder".

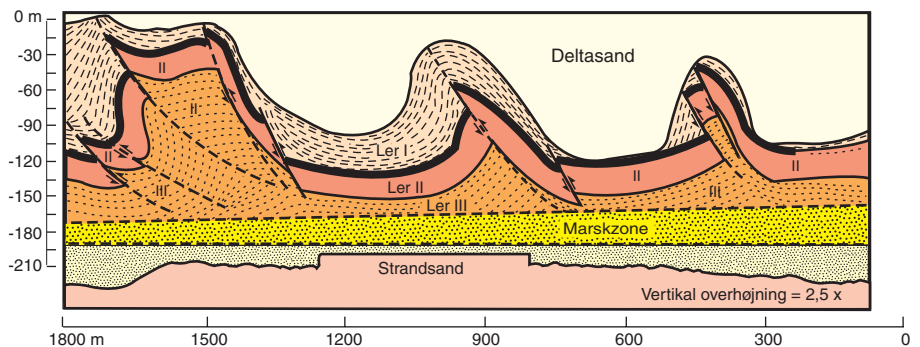
Følger man den konventionelle tolkning af istidslandskabet, blev Danmark overskredet af gletschere tre gange gennem den sidste del af Mellemveichsel: Fra nord (den norske is), fra nordøst (NØ-isen) og fra sydøst (den ungbaltiske is). (Vi ser her bort fra den gammelbaltiske is, fordi der er så få spor efter den). Det, vi godt vil diskutere i denne artikel, er det stratigrafiske grundlag, denne tolkning hviler på.

Epikontinental stratigrafi

De stratigrafiske grundprincipper er udviklet gennem studiet af især epikontinentale sedimenter. Her er det blevet klart, at man kan operere med tre typer stratigrafier: Biostratigrafi baseret på lagenes indhold af fossiler, litostratigrafi, der, som navnet siger, er baseret på lagenes litologiske sammensætning, og endelig kronostratigrafi, der refererer til aldersforhold. Det er velkendt, at både bio- og litostratigrafi kan være diakrone, at en korrelation på basis af fossiler eller bjergartstype ikke behøver at være en kronostratigrafisk korrelation – som fx når kystfaciessedimenter forskydes ind over kontinentet ved en transgression.

Når det drejer sig om glacielle dannelser, er man henvist til at arbejde litostratigrafisk, og det er da også litostratigrafi, der historisk har dannet basis for den konventionelle tolkning af det glacielle landskab. Det begyndte med Forchhammers konstatering af, at den bjergartsmæssige sammensætning af sten og blokke i istidslagene ikke var den samme i forskellige egne af landet. Det skete omkring 1830. V. Milthers fulgte denne iagttagelse og publicerede en fremragende afhandling i 1909, hvori han viste, at der var tre indfaldsveje for blokmaterialer: fra nord, fra nordøst og fra sydøst.

I en afhandling fra 1899 beskriver Milthers fra Vestsjælland, at der er forskel på blokinholdet i to morænelagslag, der ligger over hinanden. Det øverste lag indeholder baltiske blokke og norske blokke, mens det nederste kun indeholder norske



Slumpfolder og overskydninger i sedimenter i Mississippideltaet. Af uforklarlige grunde har de konventionelle kvartærgeologer ikke diskuteret, hvorvidt strukturerne i de kvartære lag kunne være af sedimentær oprindelse. (Grafik: UVH modificeret efter Reading, H.G., 1996)

blokke. Deraf slutter han, at området havde været nediset to gange i sidste istid: først fra nord, senere fra syd af en baltisk is. De norske blokke i den øverste till forklarer han med opblanding fra den nederste.

Den slutning, at der har været to nedisninger, hviler i virkeligheden på to antagelser: At moræneler kun kan afsættes fra gletscherens bund (bundtill), og at hvert isfremstød medbringer et unikt stenselskab. Den første antagelse holder ikke (se nedenfor), og den anden sætter Milthers i virkeligheden selv spørgsmålstegn ved, når han må inddrage mulighederne for opblanding fra underlaget for at forklare sine iagttagelser. Det var tilladeligt på Milthers tid, men da man nogle år senere opdagede, at der også ligger moræneler under Eem-aflejringerne, er den anden antagelse ikke gyldig – mulighederne for opblanding bliver uoverskuelige.

I begyndelsen af 1900-tallet begyndte V. Madsen at undersøge sammensætningen af andre bjergartstyper i moræneleret end ledeblokkene – også med henblik på litostratigrafisk korrelation. Denne stentællingsmetode har været meget anvendt og bruges stadig, idet man dog nu mere benytter den fine del af grusfraktionen.

For at kunne benytte resultaterne af stentællinger til stratigrafiske formål, det vil sige korrelation, må der stilles følgende krav til analyseresultaterne:

- resultaterne skal entydigt karakterisere den till, de stammer fra og

- forskellen i bjergartssammensætning mellem till, der antages at være aflejret af forskellige gletschere, skal være markant, og den skal i det mindste være større end den "indre" variation i de enkelte till-lag.

I en afhandling fra 1974 har Ib Marcussen undersøgt, i hvilken grad det første krav er opfyldt. Ved at undersøge stentællinger på dobbeltprøver af 67 forskellige till-bænke er det vist, at det kun i 40 % af tilfældene var sandsynligt, at bjergartsselskaberne i de to prøver stammede fra samme population, og i nogle tilfælde var sandsynligheden kun omkring 50 % (χ^2 -test, 5 % signifikansniveau).

Tilsvarende har Aber (1979) præsenteret stentællinger fra 2 till-lag fra Hvide Klint og brugt dem til korrelation. Der er talt bjergarter i 2 fraktioner: 0,6 - 6 cm og 3 - 5 mm, og der er lavet tællinger fra 3 prøver i hver till. Aber har ikke analyseret resultaterne statistisk, men gør man det, viser analysen af den nederste till, at sandsynligheden for, at stenselskaberne (både de store og de små korn) stammer fra samme selskab, er mindre end 1 %. For den øverste till er der for få korn i den grove fraktion til, at resultaterne er meningsfulde. For fingrusets vedkommende er sandsynligheden (som nævnt ovenfor) omkring 92 %.

Da den "indre" variation i de enkelte till-lag er så stor, som tilfældet er, giver det ingen mening at undersøge variationen mellem forskellige till-lag (det andet formelle krav).

På basis af det ovenstående må man konkludere, at de anvendte metoder ikke giver grundlag for at opstille en litostratigrafi for de danske, glacielle aflejringer. Det kan heller ikke undre, det glacielle miljøes uhyre vekslende karakter og mulighederne for opblanding taget i betragtning. Det, der kan undre, er, at kvartærgeologerne ikke har sikret deres tolkninger med statistiske metoder.

Sekvensstratigrafi

Det var Larsen, Jørgensen og Priisholm (1977) der eksplicit indførte en sekvens-

stratigrafisk tankegang i tolkningen af de danske istidslandskaber (uden dog at bruge ordet). De hævdede, at en sekvens bestående af till overlejret af smeltevandssedimenter repræsenterer en isoverskridelse, idet till-laget opfattes som bundmoræne afsat under isens fremrykning, mens smeltevandssedimenterne er afsat foran isranden i forbindelse med afsmeltningen.

Imidlertid modsiges den sekvensstratigrafiske model af de glaciære dannelser selv, ligesom den er i modstrid med det aktualistiske princip.

Det må være en rimelig antagelse, at det isfremstød, hvis eksistens man slutter sig til ud fra en sekvens i lagserien, har en udstrækning, der måles i et antal kilometer. Eller med andre ord, at hvis en lokalitet har været dækket af den pågældende is, vil lokaliteter inden for en vis afstand også have været dækket.

Hvis den sekvensstratigrafiske model er gyldig, må man altså forvente, at lokaliteter, der ikke ligger alt for langt fra hinanden, har været dækket af de samme isfremstøds sekvenser på alle lokaliteter. Men det er ikke tilfældet. På Djursland viser en opgørelse af 53 boringer indenfor et område på 65 km², at der træffes fra 0 til 4 lag af till i de boringer, der når ned til kalkoverfladen.

Det kan indvendes, at det er velkendt, at en gletscher ikke behøver at afsætte en bundtill ved et fremstød, ligesom nogle lag naturligvis kan være borteroderede. Men med den indvending bliver den sekvensstratigrafiske model ubrugelig som stratigrafisk værktøj, da man jo så ikke kan vide, hvilke isfremstød der er repræsenteret på en given lokalitet.

Den sekvensstratigrafiske model strider altså allerede derved mod det aktualistiske princip. Men den gør det også ved, at den eneste gletschertype, hvor den kunne være gyldig, er en tempereret bjerggletscher. Imidlertid viser de senere års undersøgelser af borekerner fra Atlanterhavet og fra Grønlands isskjold, at klimaet har været meget koldt i den sidste del af Mellemeichsel. Det er derfor ikke urimeligt at antage, at den is, der lå over Danmark, var af den arktiske type.

Et andet karakteristisk træk ved forholdene hos os er, at isens underlag består af bløde sedimenter. En aktuell model for den danske Weichselis skal derfor være en arktisk gletscher på et blødt underlag. Et godt bud på den type gletschere findes på Svalbard, hvor gletscherne er meget debrisfyldte, fordi isen optager materiale fra underlaget.

Allerede V. Milthers måtte erkende, at Weichselisen i Danmark kunne optage materiale fra sit underlag, men hverken han eller mange andre forfattere har tillagt det særlig betydning. Alligevel har man regnet med, at der på isens overflade var sand og grus, som smeltevandssedimenterne kunne skylle sammen i de huller, der senere blev til hatformede bakker og andre mindre kame-



Frøbjerg Bavnehøj på Fyn. Det kan undre, at mindre bakker af smeltevandssedimenter tolkes som hatformede bakker eller kamebakker, men høje bakker af smeltevandssedimenter ikke gør det. (Foto: T. V. Østergaard)

bakker. I Østdanmark findes en del høje bakker, der er flade på toppen og består af smeltevandssedimenter. De er ikke anderledes end de mindre kamebakker, men tolkes alligevel anderledes.

Miljøet omkring en debrisfyldt, smeltende is, som det kan studeres på Svalbard, er utroligt omskifteligt. Det veksler inden for ganske korte afstande, og det samme gør de aflejrede sedimenter. Et andet vigtigt træk er, at strømme af slam udgør en væsentlig aflejringsform. Flydetill er derfor en vigtig komponent i smeltevandssedimenterne. Den manglende laterale kontinuitet af till-lagene i de danske glaciære sedimenter er i god overensstemmelse med en tolkning af mange af till-lagene som flydetill.

Det er derfor kun i de tilfælde, hvor man kan udelukke, at et givet lag af till er flydetill, at man meningsfyldt kan anvende en sekvensstratigrafisk model.

Kineto-stratigrafi

Begrebet er indført af A. Berthelsen (1973, 1978). Antagelsen er, at man kan opbygge

en stratigrafi på basis af deformationsretninger, altså at lag, der er deformeret fra en bestemt retning, kan korreleres. Begrebet giver god mening i grundfjeldsområder, hvor deformationerne skyldes pladetektoniske kræfter, der påvirker store områder.

Hvis modellen skal kunne bruges på glaciære sedimenter, må "bevægelsesmønstret i hvert af de tidligere isskjolde have været så regelmæssigt og vedvarende over rimeligt store områder, at det kan rekonstrueres tilfredsstillende ved studiet af et begrænset antal tilgængelige blotninger" (Berthelsen, 1978). Den eneste måde at sikre, at deformationerne i de tilgængelige blotninger tilhører samme isfremstød, er ved litostratigrafiske metoder. Det betyder, at kineto-stratigrafi enten blot er litostratigrafi med andre midler, og at metoden derfor ikke tilfører noget nyt, eller at den er baseret på en forudsætning, der ikke kan verificeres.

I nyere tid er det især M. Houmark-Nielsen, der har arbejdet med kineto-stratigrafi. Han definerer 1987 en till som "diamicton aflejret direkte fra eller af is

uden indblanding af løbende vand." Det er en bemærkelsesværdig definition, idet den er første led i en klar ringslutning, nemlig når Houmark-Nielsen slutter, at de strukturer, han finder i till-lagene er af glacial-tektonisk oprindelse.

Hvis man skal anvende en kineto-stratigrafisk metode, må det yderligere være en forudsætning, at man for hvert enkelt lag har udelukket, at det kan være en flydetill og at strukturerne i det kan skyldes flydning.

Der er måske grund til at understrege, at vi naturligvis ikke afviser glacial tektonik i almindelighed. Det er brugen af deformationsretninger som stratigrafisk værktøj, vi sætter spørgsmålstegn ved.

Kronostratigrafi

Det er vanskeligt at lave absolutte dateringer på moræneaflejringer. Man har forsøgt med termoluminiscensdateringer, men dateringer med termoluminiscens er notorisk usikre. Når der i litteraturen (Krüger, J. 2003) opereres med et isfremstød fra nord 65.000 år før nu ("Sundsøretill"), et andet der afsatte "Kattegat Till" for 35.000 år siden og en "Nordis" for 27.000 år siden, må det tages med adskillige gran salt.

Aldrene harmonerer ikke med det store materiale af C-14 daterede mammutknogler

samlet af Kim Aaris-Sørensen. Det viser, at der i det danske område var "Mammutsteppe" med tilstrækkelig vegetation til at kunne ernære de store dyr i perioden mellem 44.000 og 21.522 år før nu (Aaris Sørensen, Petersen & Tauber, 1990). Det er vanskeligt at forestille sig, at landet samtidig var dækket af is,

Samme resultat kommer man til, når man inddrager Skærumhedehavets aflejringer. Skærumhedehavet dækkede det nordlige Danmark fra Eem og frem til for 25.000 år før nu. Boringer i skærumhedelagene (Bahnsen et al., 1974) viser en uforstyrret lagserie helt til toppen. De yngste dateringer, vi har fra før nedisningen, er af knogler fra en hvalros fundet i Vendsyssel og i Nord-søen. De gav aldre på henholdsvis 23.500, og 24.400 før nu (Aaris-Sørensen, K. 1988).

Kolos på lerfodder

Den konventionelle tolkning af istidslandskabets stratigrafi hviler på litostratigrafiske undersøgelser, der ikke er statistisk valide, på en sekvensstratigrafisk tankegang der er i strid med det aktualistiske princip og på kineto-stratigrafi baseret på litostratigrafi. Er det for meget at konkludere, at det er en kolos på lerfodder?

En tolkning, der ikke involverer stratigrafi

på et tvivlsomt grundlag, lyder som følger: I tiden efter Eem var landet dækket af Skærumhedehavet i nord og af Mammutletten i syd. For omkring 20.000 år siden bredte et isskjold sig fra nordøst ud over landet. Omkring 5.000 år senere begyndte det at smelte. Vi ved, at temperaturstigningen ved nedisningens afslutning foregik meget hurtigt, og sammenholder man det med, at Danmark er et lavland, må man forvente, at afsmeltningen skete over store områder samtidig.

De store mængder smeltevand har dannet flodsletter på isoverfladen, hvor lavninger blev fyldt ud med frismeltet materiale. I lavningerne i isen kom der derfor dels til at ligge vandtransporteret og derfor sorteret materiale (grus, sand og ler), dels usorteret materiale, der er rutschet på isoverfladen ned i lavningerne (flydetill).

Efterhånden som isen smeltede, og dens overflade derfor kom ned på lavere niveauer, blev der dannet isflodsletter i de nye niveauer. Da al isen var væk, stod sedimenterne i de dybeste lavninger i isen tilbage som issøbakker, og omkring dem lå isflodsletterne som terrasser.

Litteraturlisten findes på www.geologiskesevaerdigheder.dk, hvor debatten også kan fortsætte.

Kort nyt

Store diamanter dannet ud fra gas

Produktion af et materiale, der er hårdere en naturligt forekommende diamanter, har længe været et mål inden for materialevidenskabens verden. Nu har en gruppe, ført an af en gruppe forskere ved The Carnegie Institution's Geophysical Laboratory i Washington, D.C., produceret diamanter i ædelstensstørrelse, der er hårdere en nogen anden krystal. Og lige så vigtigt har forskerne kunnet dyrke disse diamanter direkte fra en gasblanding ved en hastighed, der er op til 100 gange hurtigere end ved tidligere metoder.

"Vi mener, at disse resultater er et afgørende gennembrud på vores felt", udtalte Chih-shiue Yan, der er hovedforfatter på artiklen om studiet. "Ikke alene var diamanter så hårde, at de ødelagde måleudstyret, men vi var også i stand til at få dem til at vokse til ædelstensstørrelse store krystaller på omkring én dag."

Forskerne dyrkede krystallerne ved at bruge en speciel høj-vækst kemisk dampaflejringsproces (CVD), som de har udviklet. Derefter udsatte de krystallerne for en højtryk- og højtemperaturbehandling for at gøre materialet yderligere hårdt.

I CVD-processen bliver hydrogengas og methan bombarderet med elektrisk ladede partikler (plasma) i et kammer. Plasmaen starter en kompleks kemisk reaktion, der

resulterer i en "kulstof-regn" der falder ned på et krystalkorn i kammeret.

Når kulstofatomerne først er på diamanthornet, arrangerer de sig selv i samme krystalline struktur som kornet. I dette tilfælde er kornet en type 1b syntetisk diamanthorn. Forskerne har dyrket enkeltkrystaller af diamanter på op til 10 millimeter i diameter og op til 4,5 millimeter i tykkelse ved denne metode.

Krystallerne dannet på denne måde, er meget hårde. "Det opdagede vi, da vi ville slibe dem i brillantslib", udtalte Yan. "De var meget sværere at slibe end konventionelle kunstige diamanter, dannet ved højt tryk og temperatur."

Forskerne udsatte så disse hårde CVD-krystaller for høj-temperatur og højtryksbetingelser. Diamanterne blev opvarmet til 2.000 grader og udsat for tryk mellem 50.000 og 70.000 gange atmosfærisk tryk (5-7 Gpa) i omkring 10 minutter.

Det endelige resultat er en ultrahård diamanter, der er omkring 50% hårdere end en konventionel diamanter.

Dette har åbnet for en helt ny måde at producere diamanter med henblik på en hel række anvendelser, som fx den næste generation af diamanter baseret elektronisk udstyr og skæreværktøjer.

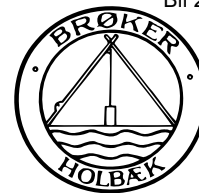
www.spacedaily.com/PBSJ

BRONDBORINGSFIRMAET BRØKER I.S.

Kontor og værksted: Telefon 59 44 04 06
Spånnebæk 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:

BRONDBORING, 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.