



Minturn cirkel, ca 50 meter i diameter. I.C. Christensens Land, Østgrønland (foto: Mogens Lind).



I DETTE NUMMER BRINGER VARV EN NORSK ARTIKEL OM EN SEN-TERTIÆR FASTLANDSFLORA FRA EN UNDERSØISK HØJDERYK - HOVGÅRDSRYGGEN - BELIGGENDE MELLEM GRØNLAND OG SPITSBERGEN.

VARV ORIENTERER ENDVIDERE OM DE MYSTISKE MINTURN CIRKLER FRA INGLEFILED LAND, OG OM ET KRANIUM FRA EN SLANGEØJLE (MOSASAUR), DER ER KOMMET TIL DANMARK.

Forsidebillede: Den randnære del af Indlandsisen i Inglefield Land med smeltevandsfloder på isoverfladen.

Forfatterne til artiklerne i dette nummer kan kontaktes på følgende adresser:

Svein B. Manum: Børjelja 47, N-1350 Lommedalen, Norge

Peter Appel: GEUS, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Thoravej 8, 2400 København NV

Niels Bonde: Geologisk Institut, Øster Voldgade 10, 1350 København K.

-----VARV-----

VARV er udgivet med støtte fra Kulturministeriets bevilling til almenkulturelle tidsskrifter.

Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Institut, Øster Voldgade 10, 1350-København K

Telefon: 35 32 24 00, Geologisk Institut, København

Redaktion: Asger Berthelsen, Bjørn Buchardt, Henrik Fougst, Bjørn Hageskov, Steen Mølgaard, Mikael Pedersen og Svend Pedersen (ansvarshavende)

Bestyrelse: Asger Berthelsen, Valdemar Poulsen, Bjørn Hageskov og Svend Pedersen.

Lay-out: Bjørn Hageskov og Svend Pedersen

Repro og tryk: Levison+Johnsen+Johnsen a/s, København

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 120 kr i abonnement for 1996. Abonnement kan tegnes ved at indsende beløbet til VARV, postgiro 9 06 88 80, eller 140 SEK til VARV's svenske postgirokonto: 4388-5, eller 140 NOK til VARV's norske postgirokonto: 0806 1923234.

Adresseændringer bedes meddelt VARV!

© 1997 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kan kun ske efter aftale.

VARV priser 1997 (excl. forsendelse)

1964-1979:	pr. årg. 10kr	pr. nr. 5 kr
1980-1985:	pr. årg. 20kr	pr. nr. 10 kr
1986-1990:	pr. årg. 50kr	pr. nr. 25 kr
1991-1994:	pr. årg. 75kr	pr. nr. 25 kr
1964-1985:		200 kr
1986-1994:		450 kr
1995:	årg. 100kr	pr. nr. 30 kr
1996:	årg. 100kr	pr. nr. 30 kr
1997:	abonnement årg. 120kr	pr. nr. 35 kr

Særunumre

Øerne	Stevns-Fakse -Møen	15 kr
Røsnæs:		15 kr
Ghana:		15 kr
Nordgrønland	(1986,1):	25 kr
DK i istiden	(1989,2):	30 kr
Iltsvind, sort	slam, trilobit. (1996,1):	30 kr
Særunumre	samlet	100 kr
Palæoklima	96,3+4, 97,2	80 kr

Bornholms geologi

I Generel	(1988,2):	30 kr
oversigt		
II Palæozoikum	(1988,3):	30 kr
III Grundfjeldet	(1989,1):	30 kr
IV Mesozoikum	(1989,3):	30 kr
Samlet	I-IV,	100 kr

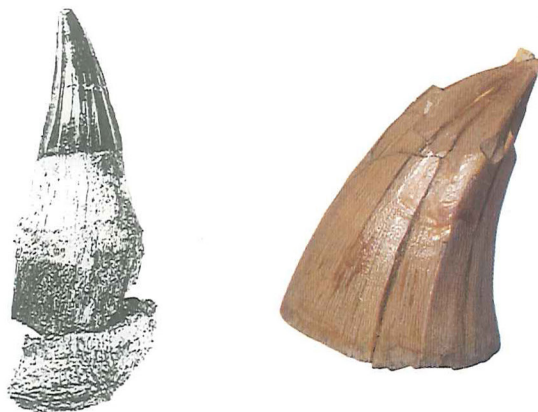
Geologisk kort over Danmark 95 kr

Der er fundet mange flere tænder, nogle hvirvler og en enkelt kraniedel fra Sen Kridttid i Skåne (Campanien). Disse repræsenterer mindst 4 arter.

Fra Belgien kendes 15-20 arter, hvoraf nogle er fundet som komplette skeletter. Her ses den største kendte diversitet indenfor mosasaurer, idet der i den fosfatrige bjergart fra Ciply er fundet fossiler svarende til 7 arter, som har levet samtidigt, heriblandt de to *Prognathodon*-arter *P. solvai* og *P. giganteus*. Lige så mange arter findes i Nigers 'mosasaur-skifer' fra Maastrichtien og i Niobrara kalken fra Tidlig Campanien fra det centrale USA. Det er fra denne sidste lokalitet, at de fleste klassiske rekonstruktioner kommer, f.eks. af mosasaurer i kamp med langhalsede svaneøgler på 12 meters længde eller i jagt på 3-4 meter lange benfisk.

Men også vore hjemlige Kridthave har altså været terroriseret af mosasaurer. De bukkede under ved den store uddøen allersidst i Kridttiden.

OBS! Et lille hæfte om mosasaurer kan købes på Geologisk Museum i København.



Til højre: Den største danske tand (vist i farver), *Mosasaurus* (?) *hoffmanni* fra Ålborg (kronen er ca. 4 cm. høj). Til venstre: En tand med rod af *Platecarpus* fra Skånes øvre kridt (ialt ca. 8 cm høj).

Hovgårdryggen i Framstredet

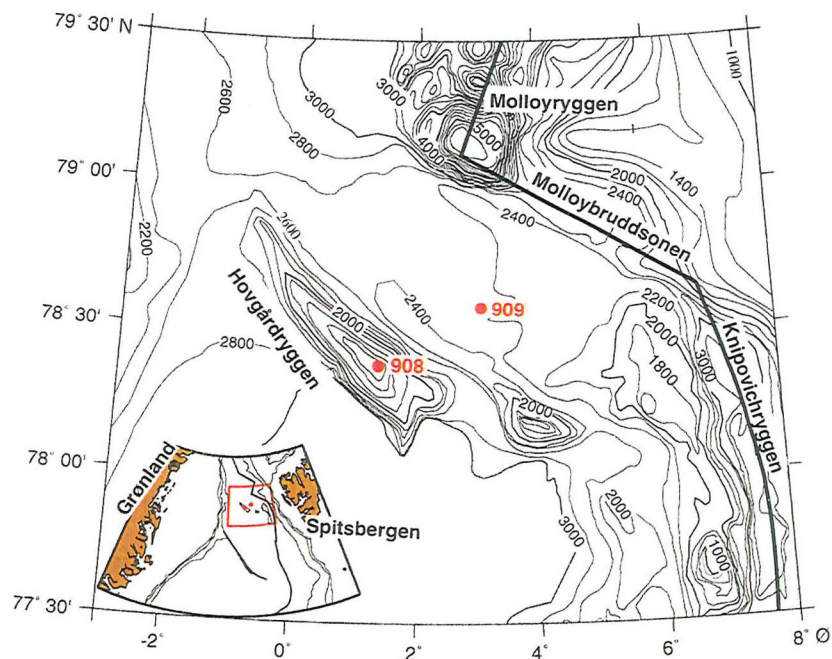
- et arkto-tertiært floristisk 'Atlantis'

Svein B. Manum

I den dypeste delen av Framstredet, omtrent midt mellom Spitsbergen og Grønland på 78° til 79° N, rager en flattoppet, undersjøisk fjellrygg opp fra havbunnen som en topografisk anomali. Den har fått navnet Hovgårdryggen etter Hovgårds Ø, som ligger på omtrent samme breddegrad (80° N) på Grønlands nordøstkyst. Geofysiske undersøkelser i denne delen av Grønlandshavet viser at ryggen er et kontinentfragment som har sunket i havet, i likhet med myten om Atlantis som forsvant. Sedimentkjerner fra ryggen inneholder mikrofossiler som vitner om tertiær landvegetasjon på høye arktiske breddegrader. Derfor er det fristende å tale om et arkto-tertiært floristisk 'Atlantis'. Dette 'Atlantis' har gitt grunnlag for en unik kombinasjon av maringeofysiske og paleobotaniske resultater, idéer og tolkninger.

Hovgårdryggen i paleo-oseanografisk og platetektonisk perspektiv

Framstredet er den smaleste delen av dyphavspassasjen mellom Atlanterhavet og Nordpolbassenget. Gjennom denne passasjen skjer det en utveksling av kalde arktiske og varme atlantiske vannmasser som er en viktig del av det globale system av havstrømmer. Dette strømsystemet har en avgjørende innflytelse på oseanografiske og klimatiske forhold ikke bare i vår del av verden, men globalt (se Klimahefte I, VARV 1996, 3, figur 8). Fra den relativt flate havbunnen i Framstredet, som ligger på 2500 til 3000 meters dyp, stiger Hovgårdryggen bratt opp til en høyde av mer enn 1000 meter (figur 1). Med en utstrekning av 150 km i sydøst-nordvestlig retning virker ryggen som en bremsende og styrende blokk for havstrømmene gjennom Framstredet. Kunnskap om Framstredets og Hovgårdryggens geologiske historie er derfor viktig for å forstå den paleo-oseanografiske utviklingen i det nordlige Atlanterhavet.



Figur 1. Den sentrale delen av Framstredet med Hovgårdryggen (havdyp i meter). Lokalitetene for borehullene 908 og 909 er markert samt de viktigste platetektoniske strukturene.

Dyphavsforbindelsen gjennom Framstredet er et resultat av havbunnspredningen mellom Grønland og Spitsbergen, og den er geologisk sett ikke særlig gammel. Den platetektoniske modellen for det nordlige Atlanterhavet viser at åpningen mellom Grønland og Spitsbergen startet så smått i tidlig oligocen tid, for ca. 33 millioner år siden (figur 2). Siden oligocen har således utviklingen av denne havforbindelsen påvirket oseanografiske og klimatiske forhold både regionalt og globalt.

Den eiendommelige ryggen i Framstredet ble i tidligere tolkninger knyttet til en antatt platetektonisk bruddsone som fikk betegnelsen Hovgårdbruddsonen. De senere år har bedre og mer omfattende geofysiske data fra Framstredet og Svalbardmarginen ledet til en annen

fosfatholdig kridt fra tidlig Maastrichtien. Det belgiske kranium er sandsynligvis nogle få millioner år yngre end det israelske fund.

Slægten er desuden fundet i USA, hvor den fik navnet 'fremkæbetand', fordi under- og overkæbens forreste tænder stikker noget fremad hos den først beskrevne belgiske art, *P. solvai*.

På vort fossil ses spidsen af en tand, som fra snudespiden er ved at vokse fremad og til siden i en besynderlig retning, mens de øvrige tænder forrest sidder 'normalt' og lodret.

Der er 7 halshvirvler bevaret i sammenhæng med kraniet. De er lidt slange- eller øglelignende, og faktisk viser også kraniets anatomi, at mosasaurer er nære slægtninge til nutidens slanger og varaner. Varaner er landdyr, men de er glimrende svømmere (Komodo-varanen på 3-4 meter er den største).

Havene i Sen Kridttid domineredes altså af kæmpemæssige (fra 3 til 17 meter lange) havvaraner, som var så specialiserede, at lemmerne var omdannet til luffer, og halen var en flad svømmehale.

Mosasaurer åd sandsynligvis alt, hvad de kunne fange, men tandformen viser, at de sikkert foretrak stort bytte såsom andre hvirveldyr. Dette fremgår også af de få tilfælde, hvor man har fundet deres maveindhold: mosasaurerne har bl.a. spist andre mosasaurer, hajer, store og små benfisk, svømmende tandfugle, skildpadder og blæksprutter, både typer med indre skal (vættelys/belemnitter) og med ydre skal (ammonitter). Der er i øvrigt fundet mange ammonitskaller med tandmærker fra mosasaurer, samt endog et enkelt mosasaurkranium med mærker efter bid!

I vort eget skrivekridt er der fundet en ret stor og nogle få mindre mosasaurtænder (ved Aalborg og Mariager, samt på Stevns). Den store tand er sandsynligvis *Mosasaurus hoffmanni*, som er omtalt af S. Floris i VARV's første årgang (1964). Det er den tidligst beskrevne mosasaur-art, navngivet i 1820'erne på grundlag af et stort kranium, som blev fundet sent i 1700-tallet i Belgien. De danske tænder repræsenterer mindst 3 forskellige arter.

Sådanne hajer er meget almindelige i f.eks. Nordafrikas aflejringer af fosfat, som eksporteres til store dele af verden. Derfor kan sådanne hajtænder købes til billige penge på næsten alle Europas stenmesser - og dette gælder også for mosasaur-tænder herfra.

Den israelske mosasaur er fundet i fosfataflejringer fra Oron-minen i Negev-ørkenen i Sydisrael. Alderen er Sen Campanien, d.v.s. næstsidste afdeling af Kridttiden, lidt ældre end det danske skrivekridt, der er fra Kridttidens sidste del, Maastrichtien.

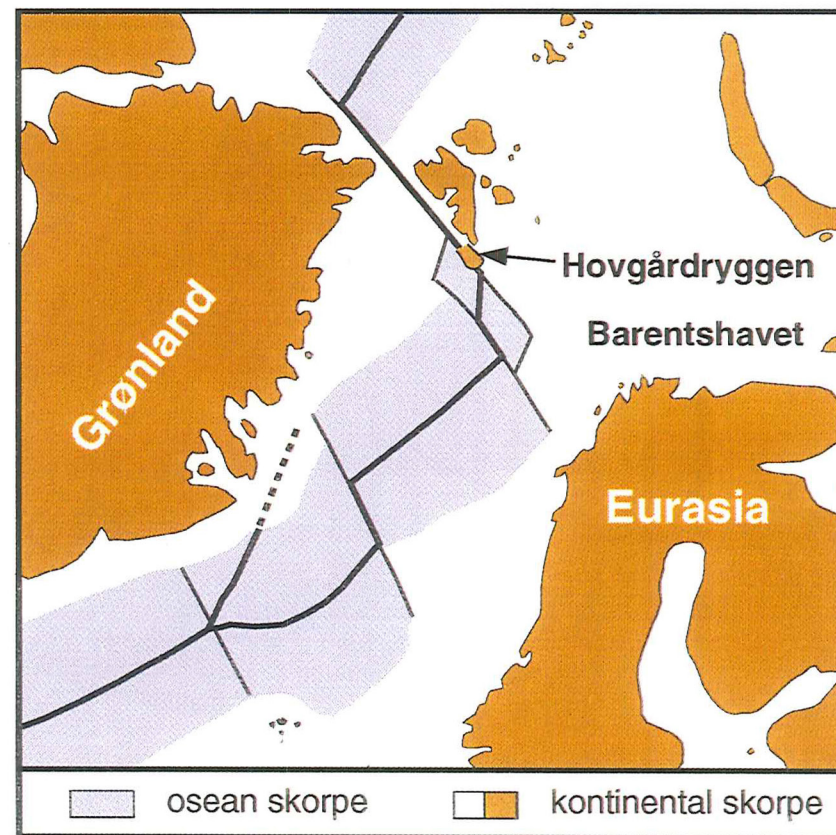
Mosasauren blev opdaget under fosfatgravningen, og kraniet blev heldigvis bevaret uskadt. Kroppen er muligvis gået tabt forinden. Fossilet lå i vejen for gravningen, og mineselskabet forærede dyret til den geologiske afdeling ved det lokale Ben-Gurion Universitet i Be'er-Sheva. Geologerne dér mangler ekspertise i præparation og beskrivelse af store hvirveldyr, så via deres samarbejde med dr. H.J. Hansen fra Geologisk Institut i København er dyret med støtte fra Mauritzen la Fontaine Fonden kommet hertil.

Geologisk Museums præparator Sten Jakobsen har, med fremragende resultat, foretaget en meget vanskelig og tidskrævende mekanisk præparation af begge sider af det store kranium. En del af det materiale, kraniet var indlejret i, er meget hårdt p.g.a. forkisling, medens resten er en blanding af kalciumkarbonat og -fosfat. Under præparationen blev der fundet en *Squalicorax*-tand ved kraniet, så det er muligt, at en sådan haj har bidt i liget. Kraniet har været udstillet på Geologisk Museum i København i februar og marts (og har desuden været vist et par gange i TV-avisen og i Berlingskes tillæg 'Univers').

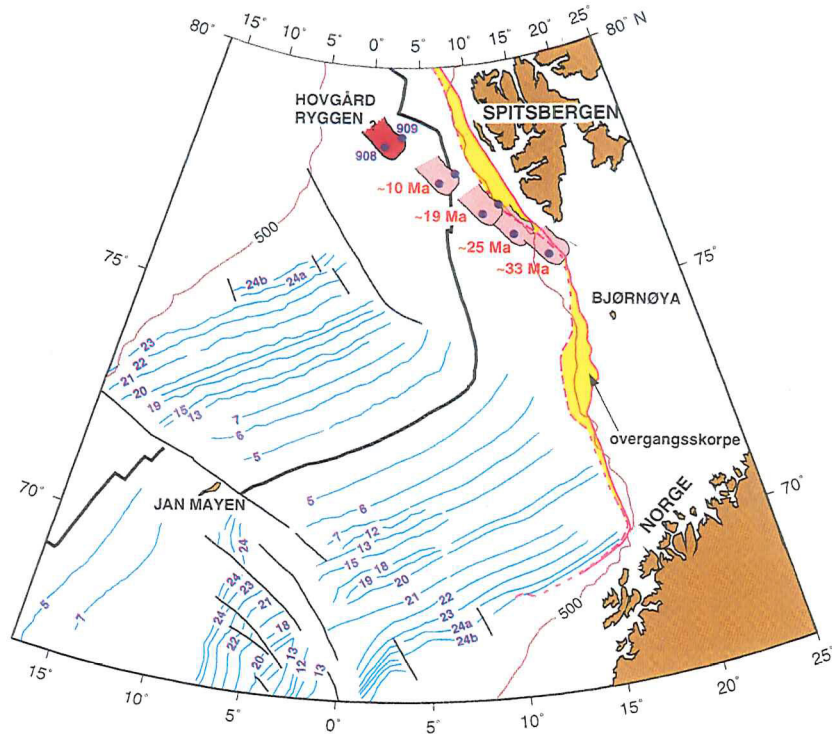
Forfatteren er i øjeblikket ved at beskrive fossilet, som er blevet præsenteret dels ved en international 'workshop' om fossile hvirveldyr afholdt på Geologisk Museum i maj 1996, og dels i Palæontologisk Klub, som er en af fagklubberne under Dansk Geologisk Forening (amatører er meget velkomne).

Det store kranium er af slægten *Prognathodon* og arten *P. giganteus*. Denne art kendes også fra Belgien, hvor den er fundet ved Ciply i

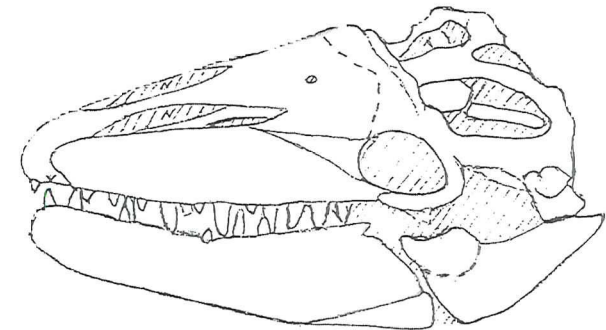
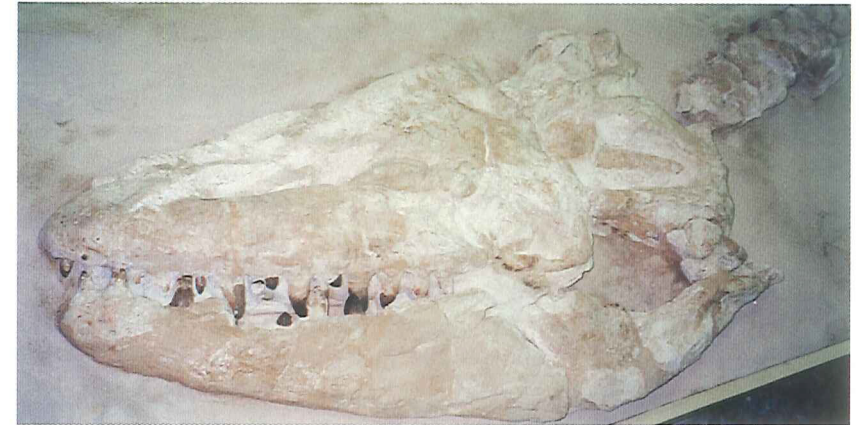
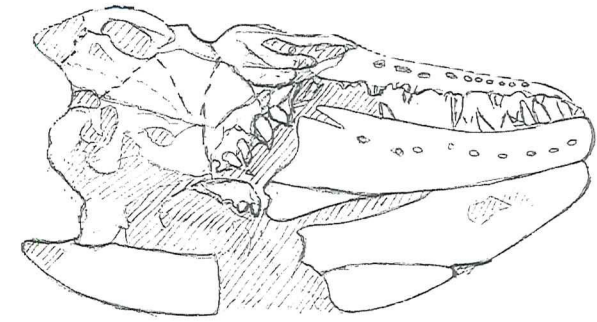
tolkning av ryggens opprinnelse. Den ansees nå for å være et kontinentalt fragment som er revet løs fra Svalbardmarginen og etterhvert ført til sin nåværende posisjon av de platetektoniske bevegelser siden tidlig i oligocen (figur 3).



Figur 2. Hovgårdryggens posisjon i forhold til hovedtrekkene i den platetektoniske rekonstruksjonen for området mellom Grønland og Svalbard/Norge ved overgangen eocen-oligocen (anomali 13 tid, ca. 33 millioner år). Det platetektoniske regime mellom Grønland og Spitsbergen skiftet etter dette gradvis fra skjærbevegelse til havbunnspredning.

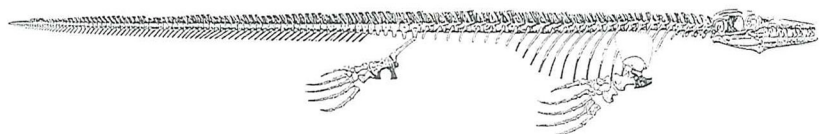


Figur 3. Hovgårdryggens bevegelse relativt til Svalbardplattformen fra tidligste oligocen (ca. 33 millioner år) til nåværende posisjon. Borehullene 908 og 909 er markert. Hull 909 er ikke plottet før ca. 19 millioner år som er alderen til de eldste sedimentene på lokaliteten. Figuren viser også spredningsanomalier (blå linjer) og hovedlinjer i spredningsakser og bruddsoner (sorte linjer).



Øverst: Mosasaurkraniet set fra højre side: Den oprindelige overside som fripræpareret af Sten Jakobsen, Geologisk Museum. I midten: Mosasaurkraniet set fra venstre side. Fripræpareret efter vending. Underkæben er 1.5 meter lang. Nederst: Kraniets knogler med kæber og kranietag og et tydeligt led midt i underkæben.

En kæmpemæssig mosasaur fra Israel



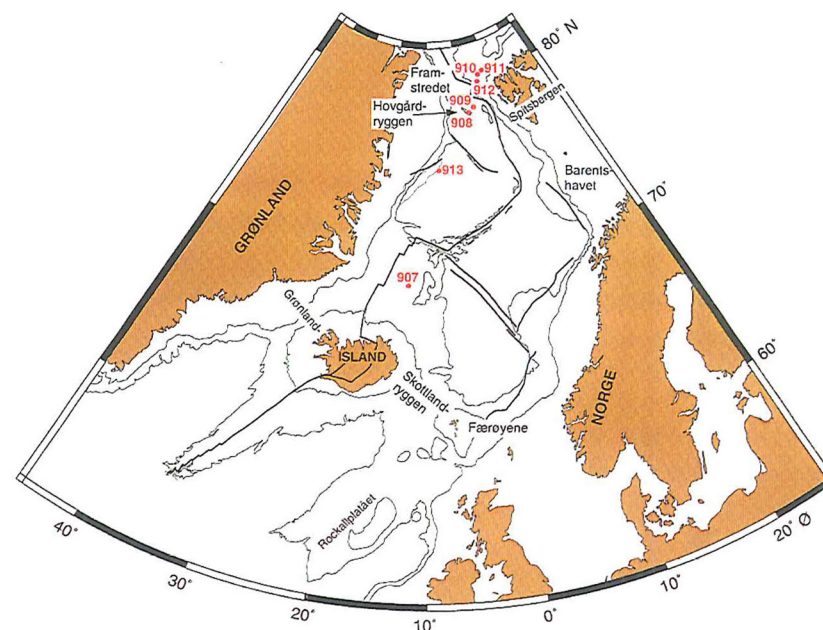
Niels Bonde

Den har været sensationelt stor, den israelske mosasaur (kaldet slange- eller havøgle). Underkæben alene måler 1½ meter i længden, hvilket svarer til, at dyret har haft en totallængde på 12-15 meter! Den absolutte mosasaur-rekord er på ca. 17 meter. Med de kolossale tænder, som var op til 7-8 cm høje, cylindriske og tilspidsede med svag skærerand, har den været 'havenes skræk' i Sen Kridttid for ca. 75 millioner år siden. Dette frygtindgydende rovdyr har været på toppen af Kridthavets fødepyramide. Den samme rolle spiller i nutidens have spækhuggeren, kaskelotten og den menneskeædende haj eller 'the great white', der er 5-6 m lang. Den har dog en helt anden slags trekantede, smalle, takkede, knivskarpe tænder.

Hajen har haft mere præcist modsvarende typer i den sene Kridttids store hajer, bl.a. (*Squalicorax*) med ca. 4 cm høje savtakkede 'dobbelblade' (i stil med tænderne hos nutidens tigerhaj) og *Scororhynchus* med 5-6 cm høje slanke, sylespidse og skarprandede tænder (disse hajer må have været mindst 5 meter lange). Hajers skelet forsternes sjældent, fordi det ikke er forbenet, men består af brusk. Forkalkninger i brusken kan forekomme, og derfor kan man finde timeglasformede hvirvellegemer, oftest som isolerede fund. Fra USA kendes dog et 'komplet' eksemplar af en 6 meter lang haj, *Cretorhina* med forkalket kranium og rygsøjle og kraftige, trekantede tænder.

Ocean Drilling Program og Hovgårdryggen

Det internationale boreprosjektet i dyphavene som startet i 1968 [Deep Sea Drilling Project (DSDP) 1968-1983; Ocean Drilling Program (ODP) 1984-], har som mål at skaffe til veie sedimentkerner for at gi grunnlag for dateringer og tolkning av havenes utvikling. Data og materiale blir analysert med alle tilgjengelige metoder av forskerne som deltar i hvert enkelt tokt. Deltakerne er forpliktet til å bidra til ODP's vitenskapelige publikasjonsserie som utkommer med et nytt bind ca. 3 år etter avslutningen av hvert tokt. Siden 1968 er det gjennomført i gjennomsnitt seks tokt hvert år; antall borelokaliteter pr. tokt har variert fra tre til over ti.



Figur 4. Borelokalitetene ODP tokt 151.

I 1974 og 1985 utførte prosjektet boringer på i alt 20 lokaliteter i Norskehavet og Grønlandshavet (toktene DSDP 38 og ODP 104). Fra disse lokalitetene ble nær 6500 meter kjerne undersøkt. Borelokalitetene var valgt for å teste den platetektoniske modellen for dannelsen av dette havområdet. Det ble ikke funnet eldre sedimenter enn fra

overgangen paleocen-eocen, som er det tidspunkt da havbunnspreddingen ifølge modellen ble innledet i Norskehavet. I 1993 gikk et nytt tokt til Norskehavet og Grønlandshavet (ODP tokt 151), men nå enda lenger mot nord enn tidligere tokt (figur 4). Hovedmålet var å studere den paleo-oseanografiske og paleoklimatiske utviklingen i det nordligste Atlanterhavet. Med en slik målsetting ble borelokaliteter i Framstredet det naturlige valg, og Hovgårdryggen fikk høy prioritet. Ett hull ble boret på selve ryggen, hull 908 til 345 meters dyp, og ett øst for dette, i området mellom ryggen og Svalbardmarginen, hull 909 til 1062 meters dyp. Totalt ble det under toktet tatt tre tusen meter kjerner på syv borelokaliteter.

Mikropaleobotaniske (palynologiske, se boks nedenfor) undersøkelser av sedimentene fra hull 908 på Hovgårdryggen har bekreftet geofysikernes tolkning av ryggens opprinnelse og utvikling. Undersøkelsene har samtidig gitt nytt innblikk i tertiærtidens flora i dette arktiske området.

Datering av Hovgårdryggens sedimenter

I forskningen på ODP-kjerner spiller studiet av mikrofossiler en sentral rolle. Biostratigrafisk datering av sedimentene gir et kronologiske rammeverk som grunnlag for tolkningen av de enkelte havområdenes geologiske utvikling. De mest anvendte mikrofossilgruppene er kokolitter (kalkflagellater), foraminiferer, diatoméer, silikoflagellater, radiolarier og dinoflagellatcyster. Den ideelle situasjonen er å finne flere fossilgrupper fortløpende tilstede gjennom det geologiske tidsrom som kjernene representerer, slik at dateringsresultatene fra ulike grupper kan supplere hverandre. Men ofte mangler flere viktige grupper i deler av lagrekken, slik at dateringen blir en tilnærming på grunnlag av en eller to fossilgrupper som kan ha ulike presisjonsnivå. Dinoflagellatcyster har vist seg å være gjennomgående bedre representert enn de øvrige gruppene i de fleste borhullene i Norskehavet og Grønlandshavet.

Dette gjelder også for boringene på og ved Hovgårdryggen. Dinoflagellatcyster er de bentoniske hvilesporene til en gruppe éncellet planteplankton (dinoflagellater). Mange dinoflagellater danner cyster med et organisk veggmateriale som er meget motstandsdyktig mot



Figur 6. Stærkt mæandrerende flod i sandsten i USA (fra *Fluvial processes in geomorphology*. Leopold m.fl. 1964).

Minturn cirkler er imidlertid for det meste næsten usynlige. Hvis ovenstående proces ikke var foregået over et stort syenitkompleks, men over et gnejsområde, ville Minturn cirklerne have bestået af lyst gnejsmateriale liggende på lyse blokker af gnejs eller lyse sediment. Man havde ikke haft en chance for at se cirklerne. Cirklerne i Inglefield Land blev kun opdaget, fordi de bestod af syenit, der havde næring nok til at sorte lichener kunne vokse her.

I 1954 fløj GGU's tidligere direktør K. Ellitsgaard-Rasmussen over I. C. Christensen Land i Østgrønland. På den tur så han en del sorte cirkulære strukturer på lys baggrund. Ellitsgaard-Rasmussen fløj ikke i helikopter, og kunne derfor ikke lande og undersøge disse mærkelige strukturer. Han konkluderede, at de skyldtes meteornedslag. Mogens Lind fra GGU undersøgte og fotograferede strukturerne i Østgrønland i 1995. De består af mørke basaltblokke, der ligger på lyse sandsten, og de kan klassificeres som Minturn cirkler. På Varanger halvøen i Nordnorge blev der tidligt i firserne beskrevet cirkulære strukturer, men dengang blev der ikke foreslået nogen dannelsesmekanisme. Disse strukturer kan også klassificeres som Minturn cirkler.

smeltevand ligesom selve isen fast til underlaget, og isens pres overførtes delvis til underlaget. Herved blev isen assisteret af det frysende smeltevand i stand til at 'plukke' og optage store blokke og brudstykker fra den sprækkegennemsatte syenit. Denne proces gentog sig mange gange, hvorved betydelige mængder syenitmateriale blev transporteret ud over området mod havet (figur 5). Herved spredtes det vifteformet, ligesom de svenske ledeblokke er blevet det under deres transport til Danmark.

På et tidspunkt for godt 8000 år siden fik vi en klimaforbedring og isens fremrykning gik i stå. Indlandsisen begyndte at smelte ned, hvorved syenitmaterialet blev blotlagt på overfladen af isen. Vi havde nu en tynd iskappe med en overflade domineret af syenitmoræne, og hen over denne kappe løb et utal af mæandrerende smeltevandsfloder.

Når et mæandrerende system får lov til at udvikle sig, vil mæanderbuerne efterhånden blive afsnørede. Formen på afsnøringerne er afhængig af, hvor slynget flodløbet er. Slynkningernes form er bestemt af, hvilket materiale bredderne består af. Hvis de består af løse af-lejringer (sand og grus) som i Vestjylland, får de afsnørede flodarme en hesteskoform. Hvis bredderne derimod er massive, som man ser i fast fjeld eller i is, vil de afsnørede flodarme blive cirkulære (figur 5). Vi har nu fået dannet cirkulære afsnørede flodarme på overfladen af Indlandsisen.

Det syenitmateriale, der ligger på overfladen, vil efterhånden glide ned i de afsnørede flodarme. Hvis der kun er lidt materiale i nærheden, får vi en ringformet struktur. Hvis der derimod glider meget materiale ned i de ringformede flodarme, vil solopvarmning af dette materiale få den omkringliggende is til at smelte, og slutresultatet bliver en rund sø med syenitmateriale på bunden. Når isen tilsidst smelter helt væk, vil de cirkulære syenitophobninger på overfladen af Indlandsisen ganske langsomt blive lagt ned på det underliggende terræn. Vi har nu fået dannet de mange hundrede Minturn cirkler, der ligger spredt hen over det centrale Inglefield Land.

Der resterer endnu et spørgsmål. Hvorfor findes Minturn cirkler kun i dette område? Svaret er: De findes ikke kun her, men mange steder.

nedbrytning, slik at det ikke går i opløsning når cystene synker ned på havbunnen og innleires i sedimentene. Noen celleveggmaterialer hos landplanter er også tungt nedbrytbare, det gjelder særlig veggmaterialet i pollen, sporer og noen vevstyper. **Palynologi** er betegnelsen på studiet av slike mikrofossiler, som også kalles **syrreresistente**, og fossilene betegnes **palynomorfer** (se boks nedenfor).

KJERNEDYP METER	TID	MILL. ÅR
0-100	øvre miocen (messin) og yngre	7
150	tidlig øvre miocen (torfon)	
185	brudd, ca. 15 mill. år	10-11
200		26-27
250	tidlig øvre oligocen (chatt)	29
300	nedre oligocen (rupel)	
344.6		33

Figur 5. Dateringen av Hovgårdryggens tertiære sedimenter på grunnlag av dinoflagellatcyster.

Målet med den palynologiske undersøkelsen av hull 908 var å datere Hovgårdryggens sedimenter ved hjelp av dinoflagellatcyster (undersøkelsen var av ulike årsaker avgrenset til miocen og eldre). Fra denne lokalitet langt til havs var det i utgangspunktet ventet at sedimentene ikke ville inneholde særlig annet enn marine palynomorfer, det vil si cyster. Men det vi fant, var overraskende og på samme tid skuffende med tanke på en cystestratigrafisk datering. Preparatene var nemlig dominert av vevsfragmenter fra landplanter, særlig ved og kutikula (en beskyttende hinne på bladenes epidermis),

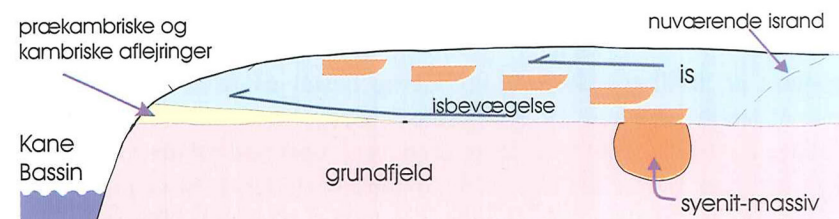
og i noe mindre grad av pollen og sporer. Dette overskyggende terrestriske innslaget gjorde det til et meget møysommelig arbeid å finne tilstrekkelig mange cyster for en datering av kjernene (figur 5). Dateringen viser at den eldste delen er fra nedre til et stykke opp i øvre oligocen, og at de oligocene sedimentene blir fulgt av de øvre miocene og yngre. Det er med andre ord et brudd i lagrekken som omfatter øvre del av øvre oligocen og nedre pluss midtre miocen.

PALYNOLOGI OG PALYNOMORFER

Palynologi er betegnelsen på studiet av syreressistente og tungt nedbrytbare mikrofossiler; palynomorfer er fellesbetegnelsen på fossilene. De viktigste gruppene av palynomorfer er dinoflagellatcyster, pollen og sporer. Noen eksempler fra Hovgårdsryggens sedimenter er vist i figur 6. Pollen og sporer kommer fra landplanter; de er terrestriske i modsætning til de marine cystene. Veggmaterialet i pollen og sporer, som kaldes sporopollenin, er meget modstandsdyktig mod oksydasjon og nedbrytning i sedimentene. Det er denne egenskapen ved pollen og sporer som har gjort pollenanalyse mulig. Mange dinoflagellaer danner cyster av et stoff som er kjemisk meget nært beslektet med sporopollenin, og det er disse vi finner bevart i marine sedimenter. Sporopolleninet er også modstandsdyktig mod sterke kjemikalier som benyttes under prepareringen. Den går ud på å løse mineral-komponentene og det lettere nedbrytbare organiske materialet i sedimentene ved å behandle prøvene med saltsyre (HCl), flussyre (HF), og i noen tilfelle konsentrert salpeterssyre (HNO_3). Syrebehandlingen gjør at alle mikrofossiler av silikat og karbonat blir oppløst, mens fossiler med sporopolleninholdige og andre motstandsdyktige, organiske vegghinner kan ekstraheres. Palynologi defineres derfor også som studiet av syreressistente mikrofossiler. I sedimenter som er avsatt i kystnære farvann finnes både marine og terrestriske palynomorfer. Mengdeforholdet mellom dem vil avhenge av avstanden fra land: jo kortere avstanden er til vegetasjonsdekket land, desto større er andelen av pollen og sporer i forhold til cyster i sedimentene. Endringer i forholdet mellom terrestriske og marine palynomorfer gjennom en lagrekke kan derfor gi informasjon om endringer i kystlinjens posisjon over tid, eller transgresjoner og regresjoner.

1. Minturn cirklerne forekommer på flad mark og på skrånende flader
2. Minturn cirklerne består stort sett kun av syenit.
3. Syenitmaterialet er ikke sortert etter størrelse og er som oftest skarpkantet.
4. Der ses både cirkler og ovale ringe.
5. Minturn cirkler er kun funnet i det centrale Inglefield Land.

Kun to aflejringsmekanismer synes at kunne komme på tale. Enten er Minturn cirklerne aflejret af vand eller af Indlandsisen. Det faktum, at flere af cirklerne findes med samme form på flade og skrå flader, tyder ikke på, at de blev afsat direkte af strømmende vand. Desuden kan syenitmaterialet ikke være transporteret langt af vand, dels fordi det ikke er sortert, og dels fordi det ikke er afrundet i nævneværdig grad. Altså må Minturn cirklerne være aflejret af isen.



Figur 4. Profil (ikke i skala) gjennom Inglefield Land visende isens udbredelse under de første trin af dannelsen af Minturn cirklerne. Med punkteret streg er angivet den nuværende isrands placering. (Fra GEUS Årsberetning 1995).

Hvorfor består Minturn cirklerne stort sett kun av syenit? For at forklare dette må vi gå tilbake i tiden til dengang Indlandsisen dækkede hele Inglefield Land (figur 4). Dengang som nu var de ydre dele av Indlandsisen frosset fast til underlaget. Først langt inde under isdækket var der plusgrader under isen. Plusgraderne skyldtes, at isen her var tyk nok til at isolere og dermed ikke bortledte jordvarmen. Det område, hvor permafrosten herskede, var på et tidspunkt lige i nærheten av et stort syenitkompleks i det nu isfri sydlige Inglefield Land (figur 4). Det var formodentlig, som mange andre syenit-massiver, efter sin størkning blevet gennemsat af både vandrette og lodrette sprækkesystemer. I dette område frøs eventuelt tilløbende

Den ydre grænse af ringe og cirkler er næsten altid skarp, medens ringenes indre grænse stedvis kan være noget diffus. Minturn cirklerne er for det meste stort set i niveau med omgivelserne, men der findes dog eksempler på svagt kegleformede strukturer, hvor den centrale del er op til 3 meter højere end periferien.

Minturn cirklerne opbygges stort set kun af blokke og materiale fra en bjergartstype, en lys rød syenit. I enkelte Minturn cirkler ses desuden mindre mængder gabbro. I de fleste Minturn cirkler findes syenit i hele 'kornstørrelses' spektret, d.v.s. store blokke, mindre blokke, store og små sten samt mindre mængder grus. I enkelte tilfælde ses dog Minturn cirkler, der kun består af grus. Syenitblokkene er som regel skarpkantede, men i de nordligste Minturn cirkler ses en del svagt afrundede syenitblokke.

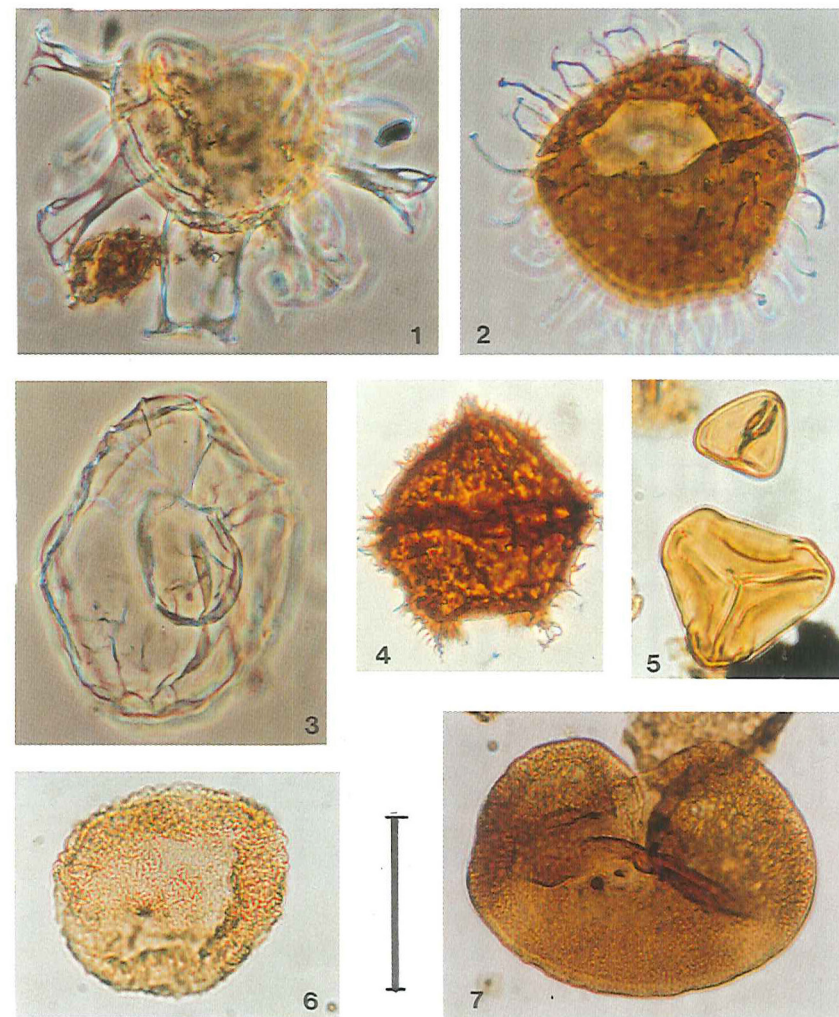
Grunden til, at Minturn cirklerne optræder sorte, er at syenitblokkene som oftest er helt dækket af sorte lichener i modsætning til de omgivende blokmarkers gnejs og sediment, som ikke har næringsstoffer nok til, at lichenerne kan leve på dem. Enkelte steder ses dog Minturn cirkler, hvor der ikke er lichenvækst på syenitmaterialet, og disse Minturn cirkler er da lyserøde.

Minturn cirklerne, der som oftest opbygges af et enkelt lag lav-bevokset syenit, findes dels på blokmarker og dels på fast fjeld. Yderligere ses Minturn cirklerne ofte på skrå flader som f. eks. dalsider, der hældes op til 45°.

Hvordan blev Minturn cirklerne dannet?

Inden feltarbejdet startede, blev der som nævnt foreslået en række mulige forklaringer på, hvordan Minturn cirklerne kunne være dannet. At de er knyttet til kimberlitforekomster kunne hurtigt afkræftes, da de hovedsagelig består af syenit. Dette gør også en meteoritisk oprindelse usandsynlig. Kunne der være tale om permafrost fænomener? Nej, denne mulighed er også udelukket, da en del af Minturn cirklerne findes på fast fjeld.

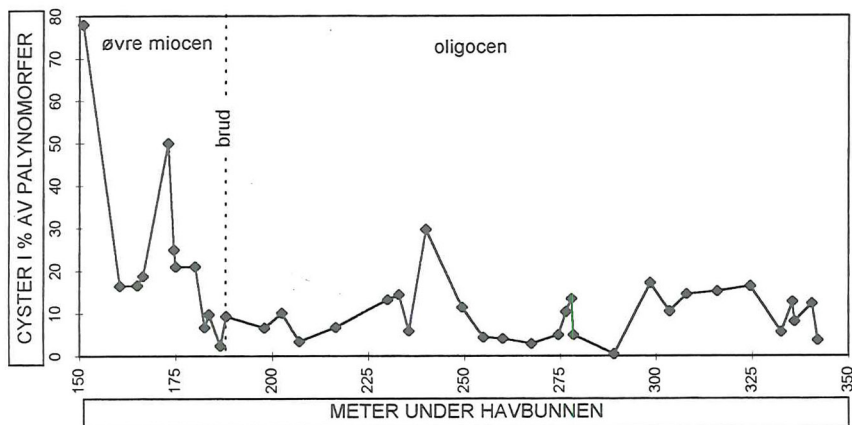
En forklaring af Minturn cirklernes dannelse skal kunne gøre rede for følgende fænomener:



Figur 6. Eksempler på dinoflagellatcyster (1-4), sporer (5) og pollen fra Hovgårdryggens sediment (6: slekten hemlockgran, *Tsuga*; 7: slekten gran, *Picea*). Målestok = 5/100 mm (50 m).

Hovgårdryggens historie i palynologisk belysning

Gjennom hele den tertiære lagrekken på Hovgårdryggen viser dinoflagellatcyster at avsetningsmiljøet var marint. Men likevel er landplanterester dominerende i de palynologiske preparatene til et godt stykke opp i øvre miocen (til ca. 160 m kjernedyp), og andelen av cyster er lav i forhold til pollen og sporer (figur 7). Hvordan kan en så forklare dette massive terrestriske innslaget i sedimentene på en lokalitet som ligger langt fra land og omgitt av dyphav? Det er to mulige kilder for det: Det kan være erodert og resedimentert fra eldre, ikke-marine sedimenter med et høyt innhold av organisk materiale fra landplanter, og/eller det kan ha kommet fra humus- og pollenproduksjonen i en samtidig landvegetasjon. I begge tilfeller må en imidlertid forutsette en beliggenhet nær land for at det skal kunne avsettes store mengder terrestrisk materiale, men med dagens posisjon for Hovgårdryggen synes det å være en umulighet.



Figur 7. Mengdeforholdet mellom dinoflagellatcyster og pollen/sporer oligocen til miocen i sedimentene fra hull 908.

Resedimentasjon har forekommet; dette kan vi se av både marine og terrestriske palynomorfer som finnes i sedimentene (alder: kritt til tidlig tertiær), men de utgjør bare et ytterst beskjedent innslag. På den annen side viser det terrestriske plantematerialet en oppbevaringstilstand som peker mot en opprinnelse i en samtidig land-

mørkegrå i kontrast til de omgivende lysegrå til lysebrune blokker og spredte blotninger av gnejser og sedimenter. Der finnes dog enkelte lyserøde Minturn cirkler. Minturn cirklerne finnes som ringe, overlappende ringe og som sorte utfylte cirkler (figur 2 og 3).



Figur 2. Minturn cirkler op til 60 meter i diameter.



Figur 3. To delvist overlappende Minturn cirkler (ca. 50 meter store).

Minturn Elv, der gjennomstrømmer det centrale Inglefield Land. [Elven er navngivet af I. K. Kane, leder af den amerikanske 2. Grinnell ekspedition til Inglefield Land 1853-55, og opkaldt efter Mary Minturn.]

Inglefield Lands geologi

Inglefield Land består af Prækambriske gnejser og krystallinske skifre, hvori der er intruderet graniter og syeniter samt en del gabbroer. Disse bjergarter er blevet foldet gentagne gange og metamorfoseret under amfibolitfacies betingelser. Området er herefter blevet nederoderet til en jævn flade - et peneplan - der senere bl.a. i kambrisk tid blev dækket af marine sedimenter. Endnu en gang blev landet nederoderet til et peneplan, og det fremstår i dag som et fladt plateau gennemskåret af enkelte dybe canyons med smeltevandstrømninger fra Indlandsisen. I modsætning til de fleste dele af Grønland er bløtningsgraden i Inglefield Land dårlig, idet størstedelen af området er dækket af endeløse flade blokmarker med klippestykker, der ligger hulter til bulter, løssprængt af frosten.

Indlandsisen, der danner den sydlige begrænsning af Inglefield Land (figur 1), ser væsentlig anderledes ud end Indlandsisen i det sydlige Grønland. I Inglefield Land er Indlandsisens rand en såkaldt kold isfront. Det betyder, at isens randnære del på grund af permafrost er frosset fast i underlaget. Denne fastfrysning resulterer blandt andet i, at smeltevandet fra isen ikke løber ud nedenunder isen, som det ellers ses de fleste steder i Grønland. Smeltevandet kan på grund af fastfrysningen ikke løbe langs bunden ude ved fronten, men må løbe på overfladen. Da overfladen har en meget lille hældning, får smeltevandstrømningerne et slynget forløb (se forside).

Minturn cirkler

I løbet af felt sæsonen 1995 blev der fundet omkring 300 Minturn cirkler i et vifteformet bælte, der er smalt i syd og vider sig ud mod nord til Kane bassinet (figur 1). Viften er omkring 40 km lang og cirka 25 km bred på det bredeste sted. Minturn cirklerne ses fra ca. 80 meter i diameter ned til omkring 5 meter. De er for det meste sorte til

vegetasjon. De dominerende vevsfragmentene ser friske og upåvirkede ud, og mange er ganske store, godt over 0,1 mm i tværmål. De bærer således ikke preg af at være erodert fra ældre formasjoner for deretter at ha blitt transportert og sedimentert på nytt. Pollenet bærer heller ikke preg av å være resyklert. Store pollen av bartrær (nåletræ, red) (såkalte luftsekkpollen, figur 6:7), som er den dominerende pollengruppen, er bevart som i moderne sedimenter. En annen observasjon, som også peker mot en opprinnelse i en samtidig landvegetasjon, er at sammensetningen av vevsfragmentene og pollenet viser liten variasjon opp gjennom lagrekken. Dette tyder på at kilden for dette materialet har vært relativt stabil hele tiden.

Oppbevaringstilstanden for plantematerialet i Hovgårdryggens oligocene og tidlig øvre miocene sedimenter kan derfor vanskelig tolkes anderledes enn at den helt dominerende kilden har vært en samtidig landvegetasjon. Lokaliteten for hull 908 må derfor ha vært relativt nær et vegetasjonsdekket landområde, noe de lave cystefrekvensene også vitner om (figur 7). De palynologiske resultatene stemmer derfor godt overens med den geofysiske modellen for Hovgårdryggens opprinnelse og vandring (figur 3). Ryggen vises her som et fragment av Spitsbergens kontinentalrand. I den første bevegelsesfasen, i oligocen, blir den forskjøvet nordvestover relativt til Spitsbergen. Som kilde for det terrestriske plantematerialet i sedimentene må vi for denne fasen forestille oss et vegetasjonsdekket kystområde langs Svalbardplattformens vestlige rand.

I miocen ble imidlertid situasjonen en annen. Platefragmentet ble brutt løs og beveget bort fra platformen, og det oppsto gradvis et relativt dypt marint basseng mellom ryggen og platformen. Sedimentene fra hull 909 viser dette. I øvre miocen var det blitt en betydelig avstand mellom Svalbardplattformen og Hovgårdryggen, og i denne posisjonen er transport av store mengder finfordelt plantemateriale fra Spitsbergens kystlandskap til ryggen lite sannsynlig. Men nyere magnetiske og seismiske undersøkelser omkring Hovgårdryggen peker mot en annen kilde. De viser at det opprinnelige kontinentfragmentet hadde en betydelig større utstrekning enn den nåværende Hovgårdryggen, og at ryggenes nordlige del i miocen raget høyere opp enn den sydlige, hvor hull 908 ble boret

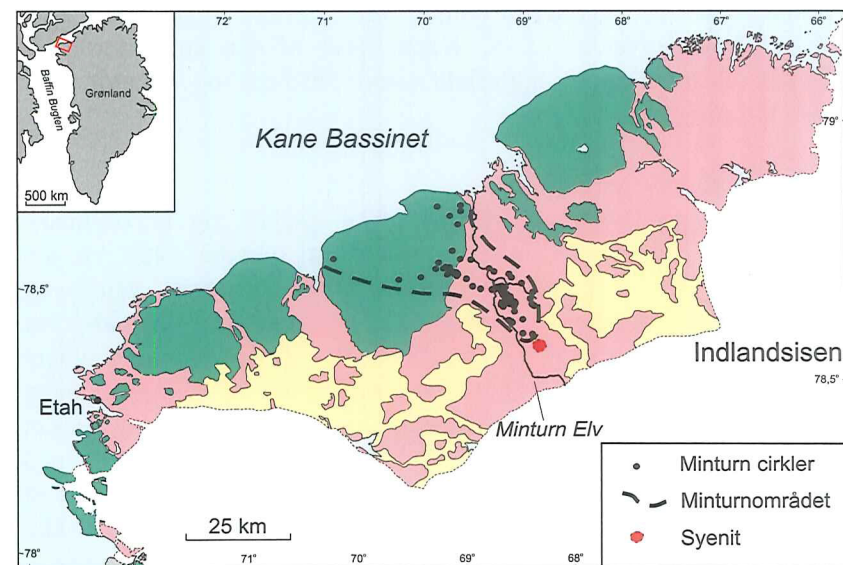
og hvor sedimentene tyder på kystnære og grunne forhold. Det er sterke indisier for at den nordlige delen av ryggen i et betydelig tidsrom etter løsrivelsen fra Spitsbergen har vært en 'Hovgårds Ø' før den forsvant under havets overflate helt mot slutten av miocen eller i pliocen. Denne 'Hovgårds Ø' er med sin vegetasjon den sannsynlige kilden for det terrestriske materialet vi finner i de første sedimenter over bruddet i hull 908.

Hovgårdryggen og Spitsbergens tertiære flora

Pollenet og vevsfragmentene fra hull 908 vitner om skogvegetasjon og høy humusproduksjon i dette arktiske området i oligocen og i den tidligste delen av øvre miocen. Vi må forestille oss at Spitsbergens vestlige kystområder var dekket av skogkledde sumper.

Pollendiagrammet fra hull 908 (figur 8) viser dominans av bartrepollen, særlig av furufamilien (*Pinus*, *Picea*, *Tsuga*). Løvtrær synes å ha spilt en ganske beskjeden rolle; mindre enn ti ulike pollentyper vitner om liten artsrikdom. Høy andel av bregnesporer tyder på en rik bregnevegetasjon, særlig i randsonene mot åpent vann hvor sporene lett kunne transporteres til havs.

Fra Spitsbergen har tertiære floraer vært kjent i 140 år. De ble først antatt å være av miocen alder, men er i nyere tid datert til paleocen og eocen. Omfattende makropaleobotaniske og palynologiske studier har gjort dem til noen av de best undersøkte blant tertiære floraer i arktiske områder. De viktigste elementene er representanter for familier som vi regner til rakletrærne, og bartrær av furufamilien og sump-sypress-familien. Løvtrær og bartrær har spilt temmelig likeverdige roller i vegetasjonen. Vi finner ingen vesentlige endringer i Spitsbergen-floraene fra paleocen til eocen, men når vi kommer til den oligocene floraen, som pollen i Hovgårdryggens sedimenter vitner om, finner vi en klar endring i forhold til paleocen-eocen. Pollenfloraen vitner om redusert artsrikdom, særlig for løvtrær, og bartrærne synes å ha spilt en større rolle, særlig representanter for furufamilien. Det er naturlig å se denne florausviklingen fra eocen til oligocen som en følge av det globale temperaturfallet ved eocentidens avslutning. En annen faktor som utvilsomt også har bidratt til ugunstigere klima og redusert artsrikdom, er Spitsbergens bevegelse



Figur 1. Vifteformet udbredelses af Minturn cirkler i Inglefield Land.. Kun en lille del af de kendte cirkler er vist. Rød = grundfjeld, grøn = prækambriske-kambriske dækbjergarter, gul = kvartære aflejringer. (Kort: Thomassen & Dawes 1996, GGU Bulletin 172).

Nu kom der rigtig næring til fantasien, og alle mulige forklaringer på de mystiske strukturer blev foreslået. Bl.a.:

1. Kimberlitforekomster
2. Nedslag af en meteor-regn
3. Permafrostfænomener som pingoer og iskilestrukturer

Muligheden for, at det kunne være kimberliter, medførte et sandt *rush* fra mineselskaper for at opnå koncessjon i området. Det blev Rio Tinto Zinc (RTZ), der løb af med sejren. Selskabet tog til Inglefield Land i juni 1995, og artiklens forfatter var med som statens repræsentant. Det blev en stor nedtur for RTZ, idet det meget hurtigt kunne fastslås, at de cirkulære strukturer ikke skyldtes kimberliter.

Senere samme år, i juli og august, sendte GGU også en ekspedition til Inglefield Land, hvori bl.a. forfatteren deltog. Den første opgave var at finde ud af, hvordan de cirkulære strukturer var dannet. Strukturene er blevet navngivet 'Minturn cirkler' efter den turbulente

Minturn cirkler - et mystisk naturfænomen

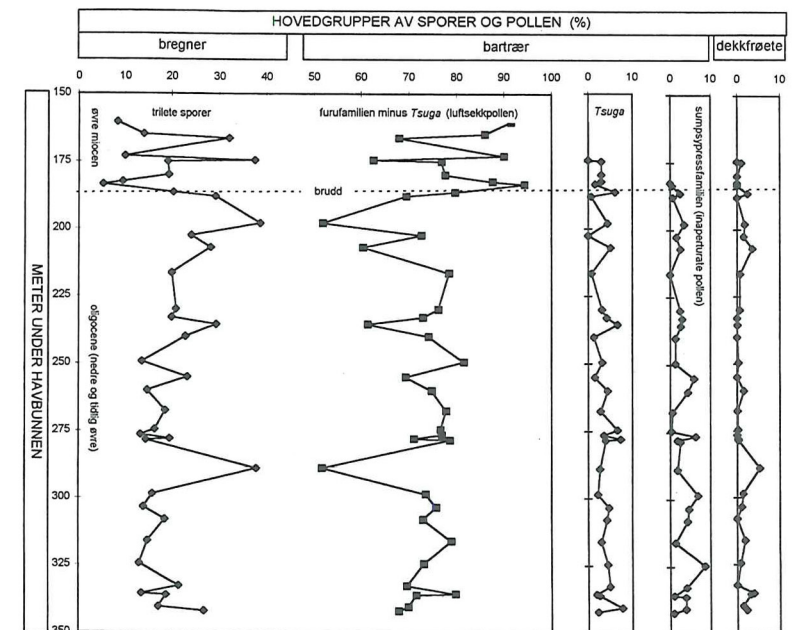
Peter Appel

I 1983 gennemførtes på Ellesmere Island en arkæologisk undersøgelse, hvor hovedformålet var at finde og beskrive spor af mennesker, herunder teltringe. Espeditionens canadiske helikopterpilot fik blandt andet som opgave at lede efter cirkulære strukturer. På en fridag tog han et smut over på den anden side af Kane bassinet, der adskiller Canada og Grønland. Der fløj han lidt rundt i Inglefield Land og fandt, som han berettede ved hjemkomsten, cirkulære strukturer 'in any number'. De canadiske arkæologer kunne dog hurtigt på hans beskrivelse udelukke, at der var tale om menneskeskabte strukturer.

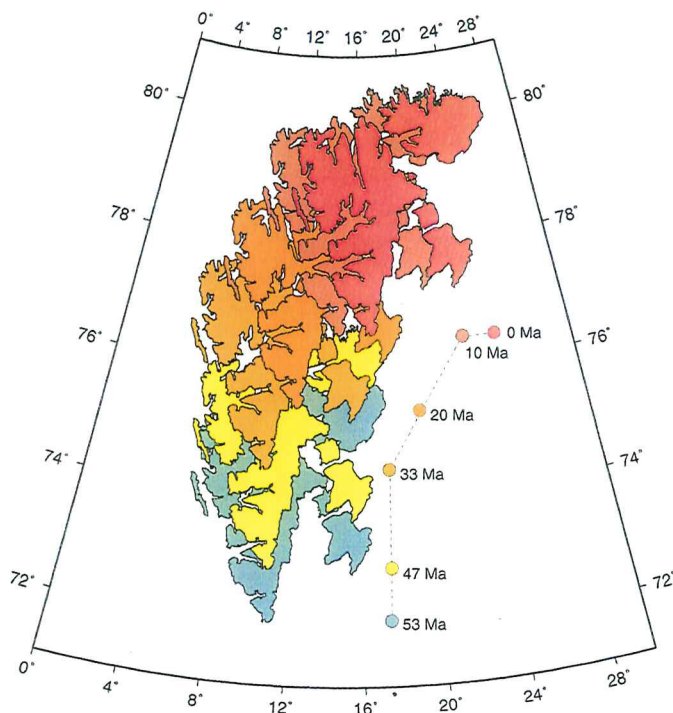
I 1994 gennemførtes flybårne geofysiske undersøgelser i Inglefield Land. Undersøgelserne, der blev finansieret af Grønlands Hjemmestyre og udført af Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU), skulle øge kendskabet til Inglefield Lands geologi og specielt dets eventuelle mineralpotentiale. Som delprojekt gennemførtes en fotogeologisk undersøgelse. Da der kort tid i forvejen var fundet cirkulære **kimberlit**-strukturer i Canada, fik fotogeologen besked på at være opmærksom på strukturer, der kunne repræsentere kimberlit. Der gik ikke lang tid, før han rapporterede 'masser' af cirkulære strukturer i det centrale Inglefield Land. I det fly, der foretog de geofysiske undersøgelser, var monteret et videokamera, der kontinuerligt filmede under hver flyvning. De cirkulære strukturer blev også 'genkendt' på videooptagelserne, hvor de sås som sorte cirkler og ringe spredt tilfældigt ud over det prækambriske grundfjeld med overliggende senprækambriske-kambriske sedimenter. På de undersøgte luftbilleder fandtes godt 100 cirkulære strukturer.

Kimberlit, som optræder i runde 'eksplosionsrør', er værtsbjergarten for diamanter. Det forventes, at der indenfor et par år bliver åbnet den første diamantmine i Canada.

mot højere breddegrader gennem tertiærtiden. Mens det sydlige området av Spitsbergen med den ennå ikke fraskilte Hovgårdryggen lå omkring 5° nord for polarsirkelen i paleocen-eocen, lå det i miocen ytterligere 5° lenger mot nord (figur 9). I tidlig tertiær har derfor plantene levet under forhold med vintermørke i ca. to måneder, og i øvre miocen (for ca. 10 millioner år siden) har det økt til omkring fire måneder. De øvre miocene sedimentene umiddelbart over bruddet i hull 908 viser omtrent de samme pollenforhold som de oligocene sedimentene. Vi ser derfor ikke klare tegn på omfattende endringer i floraen fra oligocen til tidligste øvre miocen, over et tidsrom av ca. 15 millioner år.



Figur 8. Pollendiagram hull 908. Diagrammet viser den relative andelen av bregnesporer (trilete sporer), luftsekkpollen av furufamilien, hemlockgran (Tsuga), inaperturate pollen (= pollen uden åbninger) (overveiende sumpsypress-familien), og dekkfrøete pollen.



Figur 9. Spitsbergens bevegelse i tertiær fra tidligste eocen (53 millioner år), til nåværende posisjon. De angitt tidspunktene er markert i posisjonen for øya Hopen øst for Spitsbergens sydspiss.

Hovgårdryggens pollenflora omfatter et nytt element som ikke har vært funnet i Spitsbergens paleocene-eocene sedimenter. Det er en slektning av hemlockgran (*Tsuga*), som har meget karakteristisk pollen (figur 6:6). Det er interessant at *Tsuga* er funnet i sedimenter fra en liten lokalitet utenfor det paleocene-eocene bassenget på Spitsbergen. Sedimentene er datert til midtre oligocen, med andre ord samme alder som de oligocene sedimentene på Hovgårdryggen.

Ingen arter i Spitsbergens eller Hovgårdryggens flora eksisterer i dag. Vi mangler derfor grunnlag for direkte sammenligning med hensyn til plantenes klimatiske toleranse. Ser vi på sammensetningen av den

paleocen-eocene floraen på familienivå, spesielt for løvtrærne, kan den best sammenlignes med dagens tempererte og relativt artsrike flora i det sydlige Skandinavia og i Nordvesteuropa. Det eksisterte altså i paleocen-eocen en middels temperert flora på tilsvarende breddegrader som vi i dag finner den aller nordligste grense for den sibirske taigaen. Pollenfloraen fra Hovgårdryggen vitner om en artsfattigere og bartre-dominert skog med ytterst beskjedent innslag av løvtrær. I oligocen og tidlig øvre miocen synes derfor en taigalignende skogvegetasjon å ha eksistert fem grader lenger mot nord enn den nordligste ytterpost for slik vegetasjon i dag.

Grensen for skogvegetasjon ligger i dag mellom 70° og 73°N, hvor barskogbeltet (taigaen) går over i tundra i Sibir. Vi har derfor ingen nålevende skogvegetasjon på enda høyere breddegrader som kan bidra til å belyse de arktio-tertiære skogenes vekstforhold. I denne sammenheng er det av stor interesse å se på en forkrøblet skogvegetasjon som eksisterte i tidlig kvartær, for ca. 2,3 millioner år siden, enda lenger mot nord, på over 82°N ved Kap København nordøst på Grønland. Fossilene herfra, både planterester og insekter, ga grunnlag for noen klimakonklusjoner som er relevante for Hovgårdryggen (se Klimahefte II, VARV 1996, 4). Det ble anslått at varmeste måned hadde en temperatur henimot 10 °C, som normalt er grensen for trevekst.

For Hovgårdryggens yngste flora, som er ca. 7-8 millioner år eldre enn Kap København-floraen, må vi anta lignende eller helst litt varmere sommerforhold. Vintertemperaturen ble for Kap København anslått til fra -15 til -17 °C på grunnlag av indisier for permafrost. For Hovgårdryggens vedkommende kan vi ikke slutte noe med hensyn til permafrost. Men vinterkulden må ha vært ganske betydelig, med mindre det har vært et nokså vedvarende skydekke som kunne bremse utstrålingen gjennom flere sølle vintermåneder.

Artikkelen bygger på studier utført i forbindelse med ODP tokt 151 som blir publisert i ODP's Proceedings. Scientific Results 151. Foruten nærværende forfatter har følgende forskere bidratt til studiene som denne artikkelen bygger på: M.C. Boulter, London; A.M. Myhre, Oslo; N. Poulsen, København; G.L. Williams, Dartmouth.