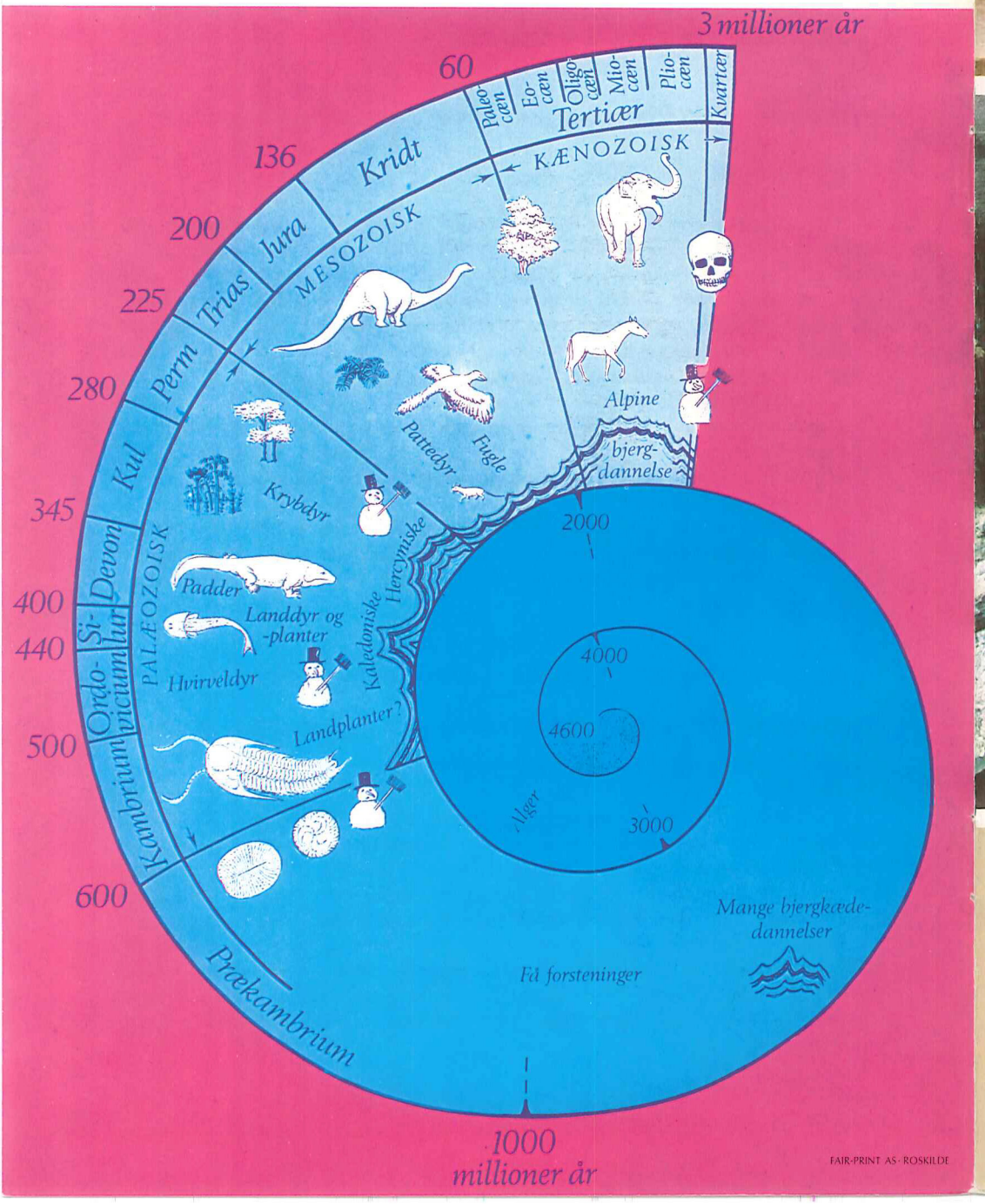


FAIR-PRINT AS · ROSKILDE

VARV

NR. 4 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1978

I ALASKA ER DER ENORME MÆNGDER AF KUL. PÅ BILLEDET SES NOGLE 15 METER TYKKE TERTIÆRE KULLAG TÆT VED BYEN FAIRBANKS. I OMEGNEN AF FAIRBANKS UDVASKES GULD, OG I DE GULDFØRENDE LAG FINDES OFTE RESTER AF MAMMUT, SABELKAT OG KAMEL. I ARTIKLEN: MAMMUTER I DYBFRYSER FORTÆLLES OM DYBFROSNE DYR, SOM LEVEDE I DET CENTRALE ALASKA FOR 30.000 ÅR SIDEN.

I ØVRIGT INDEHOLDER DETTE NUMMER EN STOR ARTIKEL OM MULIGHEDERNE FOR AT UDVINDE VARMEENERGI FRA DEN DANSKE UNDERGRUND, OG OCEANERNES BIOGRAFI SLUTTES AF MED EN BERETNING OM DET ARKTISKE OCEAN. 15.nov.1978.

SPECIELT TIL NYE LÆSERE

Vi gør opmærksom på at vore særlige emne-tilbud er sammensat af tidligere Varv-numre fra forskellige årgange.

EMNETILBUD

14 hefter med artikler om kvartærgeologi	kr. 50.00
16 hefter med turvejledninger, specielt kvartærgeologi	kr. 55.00
16 hefter med artikler om krystallografi og mineralogi	kr. 55.00
14 hefter med artikler om forstenede hvirvelløse dyr	kr. 50.00
14 hefter med artikler om forstenede hvirveldyr	kr. 50.00
5 hefter med artikler om forstenede planter	kr. 20.00
4 hefter med artikler om præparation af forsteninger	kr. 20.00

DESUDEN HAR VI ENDNU TIL GAMMEL PRIS:

Ekskursionsfører til Bornholm	kr. 36.00
Ekskursionsfører til Stevns, Faxe og Møn	kr. 21.00
Ekskursionsfører til Røsnæs	kr. 21.00
Strukturer, en geologisk grundbog	kr. 21.00
Den lille Geotekniker, grus, sand, ler	kr. 21.00
Lærebog for den lille Tektoniker	kr. 62.00
Lærebog i historisk geologi - Palæozoikum	kr. 46.00
Ghana	kr. 26.00
Plakat med 1) tidsspiral, 2) grusgravsstruktur, 3) sølv	à kr. 10.00
8 forskellige postkort i farve med mineralmotiver	kr. 7.00

Ved at indsende beløbet på det man ønsker til Varv's girokonto - bliver alt ekspederet portofrit.

VARV

Postadresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, 1350 København K. Tlf. 01 - 13 50 01.

Redaktion: V. Poulsen (ansvarshavende), M. Hansen, S. Laufeld, E. Stenestad, S. Sjørring, E. Bondesen.

VARV udkommer fire gange om året. Prisen er 36,00 kr i abonnement. Abonnement tegnes ved indsendelse af beløbet til VARV, postgiro 9 06 88 80.

VARV's plakater (10 kr), ekskursionsførere (Stevns-Fakse-Møn 21 kr, Røsnæs 21 kr, Bornholm 36 kr) og samlekasetter (til 6 årgange) 13 kr fås ved at indsende beløbet på postgiro 9 06 88 80.

Alle henvendelser vedrørende adresseforandring, fejl ved bladets levering, og lignende bedes rettet til postvæsenet.

© 1978 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kun efter tilladelse.

fossilt. Sådanne sporfossiler giver ligesom kropsfossilerne mulighed for at tolke de livsbetingelser, der fandtes på stedet.

Med eksempler fra moleret vises hvorledes man ud fra sedimentstrukturer, fossiler og sporfossiler kan danne sig et indtryk af livsbetingelserne i det hav, hvori moleret blev aflejret.

TIRSDAG DEN 23 JANUAR 1979. ROLF GILBERG:

"MENNESKEMÅLEREN"

Gennem nogle år har foredragsholderen, som til daglig arbejder ved Nationalmuseets etnografiske afdeling, udført antropologiske undersøgelser blandt fremmede folkeslag. I 1963 og i 1969 - hver gang i maj-juli måned - besøgte han polareskimoerne, verdens nordligst boende mennesker. Gennem billeder og ord fortælles om, hvordan eskimoer modtager og betragter en "menneskemåler", hvilke oplysninger der indsamles, og hvorledes de indsamlede data indgår i den antropologiske forskning.

De spørgsmål, der blandt andet søges besvaret er: Hvornår og hvorfra kom eskimoerne? Hvilke forskelle er der mellem dem og deres naboer indianerne? Hvordan "læser" man knogler af levende mennesker og af skeletter i gravene? Hvordan fravrister man døde ting oplysninger om mennesket og dets livsform?

Mens etnografen drager kulturelle udviklingslinier, trækker antropologen slægtskabslinier mellem folkene, i overensstemmelse med biologens og palæontologens forestillinger om arvelighed og udvikling af organismerne gennem tiden.

TIRSDAG DEN 6. FEBRUAR 1979. ELLA HOCH:

MENNESKETS STORE SAMTIDIGE: MAMMUTEN, UROKSEN, VILDHESTEN OG HVALERNE.

Det oprindelige menneske var og er en del af naturen, sidestillet de andre store pattedyr i faunabilledet. Hulemalerier, skulpturer og klipperistninger viser os menneskets respekt for elefanter, næsehorn, heste, okser og de store havdyr - og for mennesket selv, ofte maskeret som dyr. Først sent, med den beskyttede tilværelse i agerbrugskulturen, lader mennesket sit gudsbillede ligne sig selv, og med industrikulturen taber det også den lighed. I foredraget vil vi anskue de store pattedyrs forbindelse med mennesket i istid- og efteristid. Nogle arter uddøde, andre "overlevede" i tamformer. Hvor meget kan tilskrives menneskets voldelige dominans?

POPULÆRE FOREDRAG PÅ GEOLOGISK MUSEUM

Varv bringer i år, ligesom sidste år, et kort resume af de foredrag, der vil blive afholdt inden næste Varvnummer udkommer. Vi håber, at denne forhåndsorientering vil give endnu flere lyst til at møde op til foredragene, der som sædvanlig afholdes i auditorium 1, Øster Voldgade 5, tirsdage klokken 19.15 pr.

De populære foredrag giver et kig ind i forskellige af de forskningsområder, dansk geologi repræsenterer. Foredragene er hver gang et billede af vor viden i øjeblikket, et udsnit af den fortløbende søgen, som forskning er.

Efterårets foredrag omhandler forskellige temaer, mens forårets serie er centreret om mennesket og danner oplæg til en udstilling, Geologisk Museum påtænker at lave, om slægten Homos opståen og dens udviklingsforløb gennem 70 millioner år. Hvordan samler vi viden herom, og fra hvilke sider kan emnet belyses, så vor forståelse for det øges?

TIRSDAG DEN 21. NOVEMBER. SVEINN JAKOBSSON:

VOR NYESTE VIDEN OM VULKANISMENS ISLAND.

Island ligger hen over grænsen imellem de amerikanske og euratiske jordskorpeplader, som bevæger sig fra hinanden med en hastighed på 2 cm om året. Herved fremkaldes en intens vulkanisme, som når sit maximum i det centrale Island. De vulkanske zoner består i virkeligheden af 29 mindre, såkaldte udbruds-sværme, hver bestående af snesevis af udbrudssteder og ofte med en fremtrædende vulkan i den centrale del. Vestmannaøerne er et eksempel på en sådan sværm, hvor Heimaey så småt er ved at udvikle sig til en centralvulkan.

TIRSDAG DEN 5. DECEMBER. GUNVER K. PEDERSEN:

HVORDAN KAN MAN TOLKE LIVSBETINGELSERNE I ET 50 MILLIONER ÅR GAMMELT HAV ?

Havaflejringer er sædvanligvis opbygget af sand-, silt- og lerpartikler. Sedimentets kornstørrelse og de sedimentære strukturer giver oplysninger om strøm og bølgebevægelse. Aflejringerne indeholder ofte kropsfossiler af dyr, som levede i det pågældende hav. Desuden findes undertiden spor og gravegange dannet af orme og andre dyr, som ikke bevares

MAMMUTER I DYBFRYSER

Mastadon ivory for carving. We buy large quantities. Good price. Phone or write: McAlpine Fur Company, 819 West Fourth Avenue, Anchorage, 99501 or phone: 274-4411 or 274-9131.

af Sven Laufeld

Den 21/11 1975 fandtes ovenstående ordlyd i en annonce i "All-Alaska Weekly". Under et årelangt ophold i byen Fairbanks så jeg den senere hver uge i avisen. Forklaringen herpå er, at elefanter var hyppigt forekommende i Alaska i Kvartærtiden. Eskimoer og indianere - Alaskas oprindelige indbyggere - har i flere tusinde år skåret i mammut-elfenben, men først i 1816 fandt mennesker fra såkaldt civiliserede egne mammutrester i Alaska. Den 8. august 1816 indførte løjtnant Otto v. Kotzebue nemlig i skibsdagbogen for det russiske ekspeditionsfartøj "Rurick", at han havde tilegnet sig "en meget fin mammuttand" blandt den store mængde mammutrester, som ekspeditionsmedlemmerne så stikke frem fra et smeltende isparti på Alaskas vestkyst.

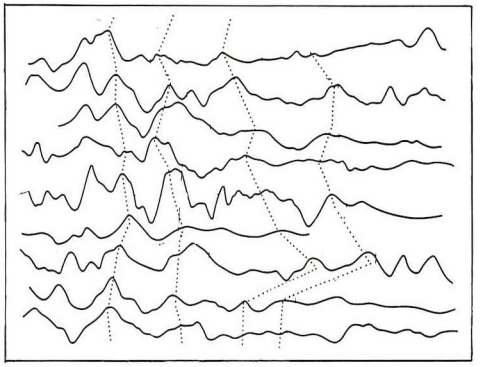
Det er kun gået op for meget få skandinaver, at mammutrester og andre pattedyrsfossiler er særlig hyppigt forekommende i Fairbanks-området. Lad os derfor se på fundtallene fra 4 af de mange indsamlingssteder omkring byen.

På disse 4 pladser havde man op til 1968 indsamlet sammenlagt 5965 genkendelige skeletelementer, tilsammen 8705 kg. Af de 21 pattedyrarter man havde fundet udgjorde mammutresterne 3000 kg, mastodonter 2500 kg, kæmpebisoner 500 kg, elge 370 kg, wapiti 220 kg, kameler 180 kg, sabelkat 100 kg og ulv 30 kg. Mammutmaterialet fra Fairbanksområdet er aldrig blevet beskrevet samlet, og derfor er det svært at beregne det totale antal individer, man har fundet. Det mindre omfattende bisonmateriale, der indsamledes gennem 14 feltsæsoner i Fairbanks-området, blev beskrevet i 1947 og omfatter blandt andet 178 tyrekranier, 1686 kæber og 4838 mellemhånds- og mellemfodsben.

Indtil nu har vi kun diskuteret skeletdele, men inden vi går over til de dybfrosne og frysetørrede dyrerester, vil vi forsøge at få svar på nogle spørgsmål. Hvordan så der ud i Fairbanks-området, da mammutterne levede der for 10-12.000 år siden ? Hvorfor er man stødt på så mange fossile pattedyr netop omkring Fairbanks?

Figur 1. Isens maksimale udbredelse under Wisconsin-nedisningen, (blåt), som var samtidig med Weichsel, den seneste nedisning i Nordeuropa. Nord for den øverste punkterede linie er jorden i nutiden overalt konstant frossen. Syd for den nederste punkterede linie findes ingen permafrost. Mellem de to linier er jordbunden stedvis optøet i sommertiden.

I Sibirien er fundet rester af mere end 6000 mammuter. De fleste er omkring 30-40.000 år gamle. Frem til for 12-20.000 år siden vandrede mammutflokke fra Sibirien til Alaska via det 1500 km brede landområde, som siden blev dækket af Bering Strædet. De første mennesker kom til Nordamerika samme vej og på samme måde. Mammuterne og de andre pattedyr kom til Alaska under den seneste Kvartære nedisning, som i Nordamerika kaldes "Wisconsin". Som man ser på figur 1, dækkede Wisconsingletscherne hele den sydlige og store dele af det nordlige Alaska, det vil sige alle højtliggende områder. Derimod var hele det centrale Alaska isfrit for 10-12.000 år siden. Vi ved, at området var dækket af uendelige græssletter, eftersom græsædere som kæmpebison, vildhest og mammut udgjorde 95 % af biomassen. I dag har busk- og til en vis grad skovvegetation erstattet græsset, og nu udgør elgen mere end 95 % af biomassen.



Figur 8. De magnetiske anomalier over en del af Alpha Ryggen. Punkterede linier viser sammenhørende anomalier. Ved sammenligning med figur 4 er overensstemmelsen klart ringere.

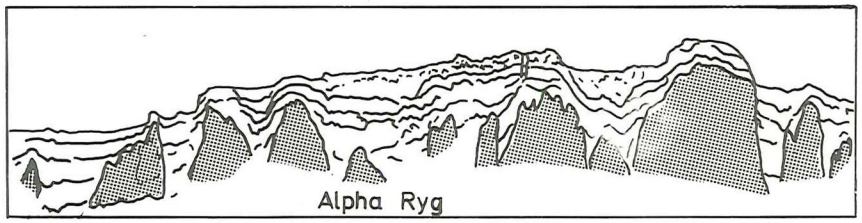
tesens spekulative natur må man konstatere, at den omend i meget beskedent omfang understøttes af nye geologiske fund nær nordspidsen af Grønland. Her er der nemlig fundet vulkanske lavaer, der i alder og kemisk sammensætning passer fint med "vulkankædetolkningen".

Uanset hvilken dannelsesmekanisme, der ligger bag Alpha Ryggen, kan den ikke forklare hele det Canadiske Bassin, idet ryggen jo ligger meget asymmetrisk i forhold til bassinet. Uenigheden omkring bassinet er dog ikke så stor, idet de fleste indrømmer, at der er for få og utydelige data til at underbygge en dannelseshypotese for dette område. Vi må derfor nøjes med at konstatere, at det forholdsvis jævne relief uden markante rygge eller lignende som præger det Canadiske Bassin, og manglen på udprægede, datérbare magnetiske seafloor-spreading anomalier er i overensstemmelse med, at området udgøres af endog meget gammel oceanbund (cirka 350 millioner år). Selv om Alpha Ryggens nærmere natur ikke er kendt, er det sandsynligt at området omkring denne er betydelig yngre, eller i hvert fald ændret væsentligt på et senere tidspunkt.

Vi skal afslutte denne artikel om det Arktiske Ocean med en kort rekapitulation af dannelsesforløbet: Det Euroasiske Bassin er dannet ved simple seafloor-spreading processer omkring den aktive spredningsryg, Nansen Ryggen i perioden cirka 60 - 0 millioner år før nu. Dannelsen af Nansen Ryggen medførte afskæringen af en kontinental flis, Lomonosov Ryggen, der i dag som følge af seafloor-spreading, er placeret midt i det Arktiske Ocean. Dannelsen af det Ameriasiske Bassin er uklar, men det synes sandsynligt at det Canadiske Bassin udgøres af meget gammel oceanbund, hvorimod områderne omkring Alpha Ryggen sandsynligvis er noget yngre.

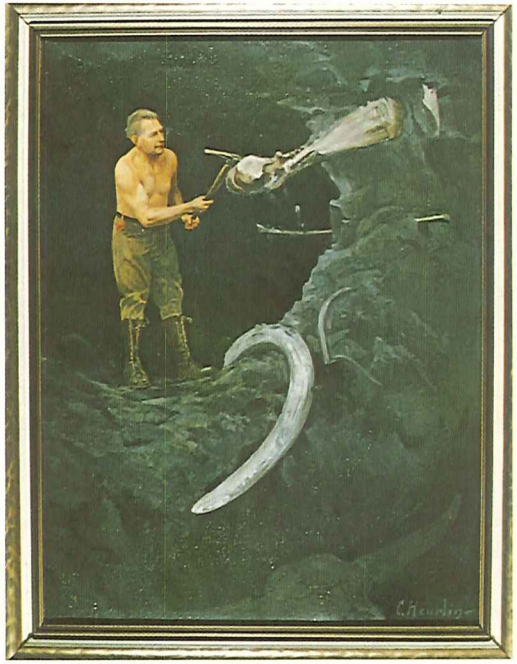
spredningsrygge er forholdsvis flad og dækket af fladtliggende, uforstyrrede sedimenter. Dette og andre forhold gør, at de fleste forskere idag anerkender den omtalte dannelsesteori, og i figur 6 er vist placeringen af Lomonosov Ryggen op til den sibiriske shelf for godt 60 millioner år siden, inden spredningen omkring Nansen Ryggen startede.

Tilbage står så dannelsen af Alpha Ryggen og det Ameriasiske Bassin. Uklarheden og uenigheden blandt forskerne omkring Alpha Ryggen er stor, og vidt forskellige dannelseshypoteser er blevet fremført. I figur 7 er der vist nogle tværsnit af Alpha Ryggen, og i figur 8 er de magnetiske anomalier over ryggen afbildet. Vi bemærker i figur 7, at det uregelmæs-



Figur 7. Tværsnit af Alpha Ryggen. Ryggen har et langt mere ujævnt relief end Lomonosov Ryggen (figur 5), og de overliggende sedimenter virker også mere forstyrrede.

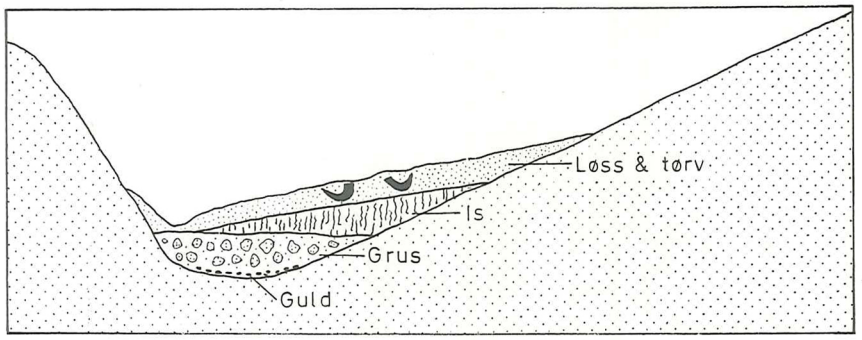
sige relief, der normalt præger spredningsrygge, i hvert fald i nogen grad kan genfindes på Alpha Ryggen, samt at dette relief i stort omfang er dækket af lagdelte sedimenter. De lagdelte sedimenter ligger ikke fladt som på Lomonosov Ryggen, men hvorvidt dette skyldes senere forstyrrelser, eller blot afspejler en "sedimentær drapering" over allerede eksisterende rygge vides ikke. De magnetiske anomalier har været taget som bevis for seafloor-spreading, men det har senere vist sig, at anomalierne snarere hænger sammen med ryggenes ydre relief - og ikke med deres indre, som det er tilfældet med "rigtige" seafloor-spreading anomalier. En tolkning af Alpha Ryggen som en uddød, såkaldt fossil spredningsryg er derfor vanskelig, og de ret betydelige mængder sedimenter oven på denne ville da betyde, at denne har været uddød temmelig længe. Spredningsaktivitet omkring Alpha Ryggen for mellem 60 og 40 millioner år siden har således været foreslået, men strider udover førnævnte forhold med den temmelig store højde ryggen har idag, idet fossile spredningsrygge så at sige "synker sammen" med tiden. For at understrege uenigheden omkring Alpha Ryggen skal det lige nævnes at denne også har været tolket som resultat af en sammenpresningsfase for mellem 80 og 60 millioner år siden. Ryggen skulle ifølge denne hypotese være opbygget af vulkankæder foranlediget af sammenpresning (subduktion) i området. Sådanne vulkankæder kendes fra områderne omkring vore dages dybgrave (subduktionszoner), og trods hypo-



Figur 2. Oliemaleri i prorektors kontor ved University of Alaska. Maleriet, der er udført af C.Heurlin, viser en fossilsamler af norsk afstamning med en stødtand af en mammut, "Pat Maas renser et mammutlårben", og under hans fødder kommer et bisonkranium til syne.

Kortet giver os også en af forklaringerne på, at vi i dag ved så meget om dyreverdenen i Alaska i Wisconsintid. Med undtagelse af de sydlige kystområder er jorden i Alaska konstant bundfrossen. Det er dog kun i den nordlige trediedel, at jorden aldrig nogensinde tør op, mens der sker pletvis optøning inden for det gamle "mammutområde". Dyr og planter, der blev begravet i det centrale Alaska, rådner derfor meget langsomt eller næsten ikke, og chancen for at støde på dem er derfor stor.

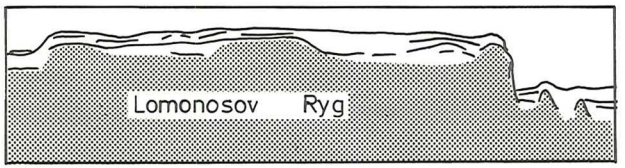
Opdagelsen af guld lige nord for Fairbanks i 1902 blev den direkte årsag til massefund af Wisconsinfossiler. På figur 3 ser man, at guldgraverne måtte fjerne det fossilførende, 10-30 meter tykke dæklag for at nå ned til guldet. Den almindeligste brydningsteknik bestod i, at man med vandkanoner oversprøjtede de konstant frosne Kvartærlag i floddalene. Fra de 30 meter høje skrænter randt 10-15 cm opblødt materiale ned per døgn. Fossilsamlerne kunne så bare opsamle de udskyllede rester. Den mest legendariske af samlerne, Otto Geist, kunne til tider ikke huse alle fossilerne i sin bil, når han skulle køre en dagshøst hjem, figur 4. En anden fossilsamler er foreviget på et oliemaleri (figur 2), mens han hugger skeletrester fri af den frosne jord.



Figur 3. Skematisk snit gennem lagene i en floddal ved Fairbanks. Underst Prækambrisk gnejs. Vaskeguldet, som ligger på grundfjeldsoverfladen, er dækket af Kvartært smeltevandsgrus. Mammutstødtænderne ligger i "Fairbanks Muck", som er 10-12.000 år og består af stinkende organisk materiale, sand og jord.

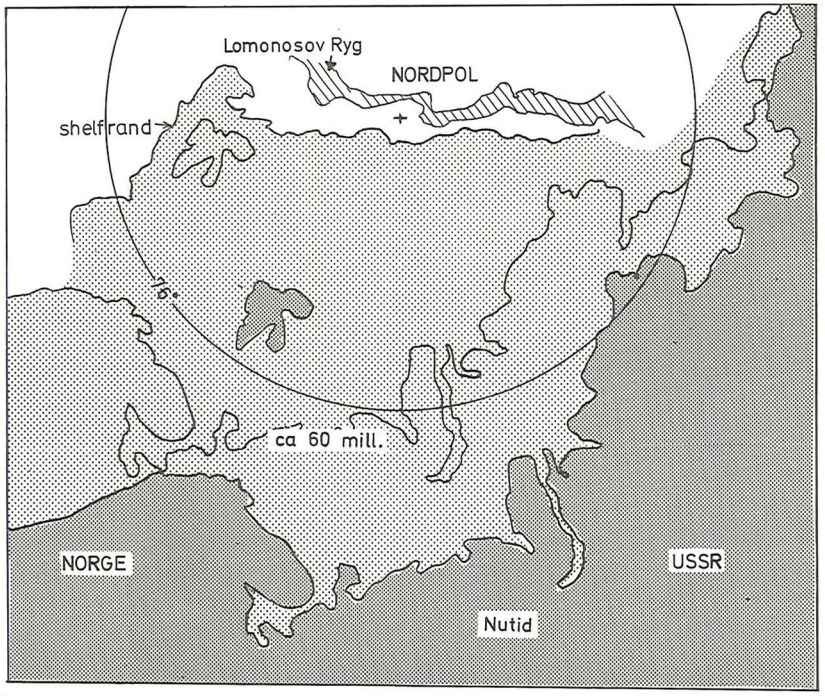
De dybfrosne eller naturligt frysetørrede mumier er nok de fund, der fascinerer os mest. Flere bisonarter, mammuter, heste, flere moskusarter, elge, rensdyr, harer og jordegern har man fundet i mere eller mindre hel bevaringstilstand. Nogle havde endda indtørret blod i årerne, mens andre havde øjnene i behold - omend blikket var lidt søvnigt. I 1948 fandt man forreste halvdel af en ètårig dybfrossen mammutunge. I levende tilstand har den vejet cirka 100 kg og var hårløs, i modsætning til sine fuldvoksne slægtninge. Efter fundet blev den forevist liggende i en fryseboks med glaslåg sammen med en nylig afdød, omtrent jævnaldrende elefantunge. Alle disse dybfrosne og frysetørrede fossiler er af Wisconsin alder og er mellem 10.000 og 70.000 år gamle. De er ingenlunde døde samtidig eller på mystisk vis. De fleste er bare trådt forkert og er faldet i et hul i jorden i begyndelsen af vinteren.

De fleste er særlig interesseret i mammuterne. Mine egne yndlinge blandt mumierne i Fairbanks er jordegern. I den frosne tundra er fundet mere end 250 jordegernhuler. I mange huler fører en 1,5 meter lang gang ned til hulen, hvor der også findes en lille bunke frø, som egernet har samlet. I flere tilfælde er det perfekt bevarede jordegern fundet ved siden af sin frøbunke. Et af disse egern døde for 14.760 år siden.



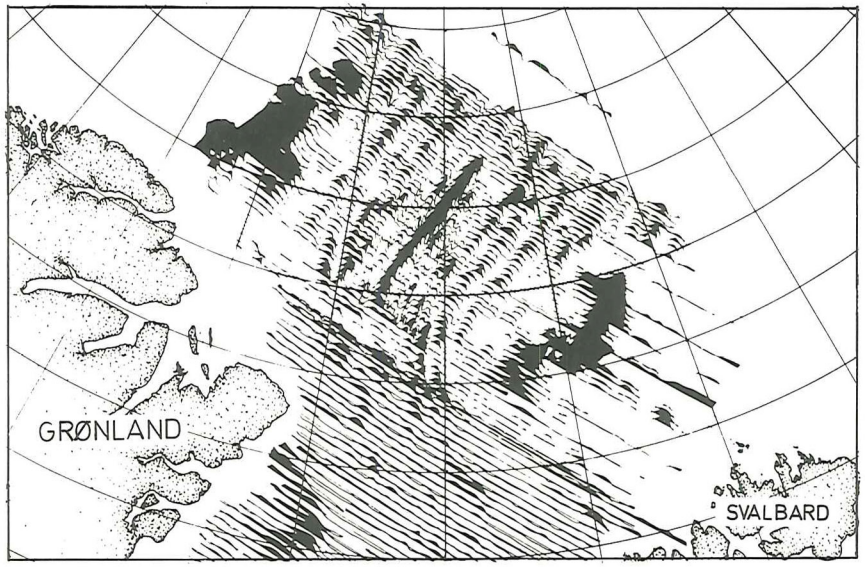
Figur 5. Tværsnit af Lomonosov Ryggen. Bemærk de fladtliggende og forholdsvis uforstyrrede sedimenter der dækker ryggens tilsyneladende jævne overflade - denne er dog ikke kendt i detaljer.

Denne ret klare viden om dannelsen og dateringen af den Euroasiske del af polbassinet giver endvidere mulighed for en meget simpel forklaring på Lomonosov Ryggen. Vi kan nu forestille os, at den er dannet ved, at en "flis" af den sibiriske shelf er skåret af ved den begyndende dannelse af Nansen Ryggen, for senere at blive transporteret længere og og længere væk fra sit oprindelsessted i takt med udvidelsen af det Euroasiske Bassin. Vi ser i figur 5, at Lomonosov Ryggen i modsætning til



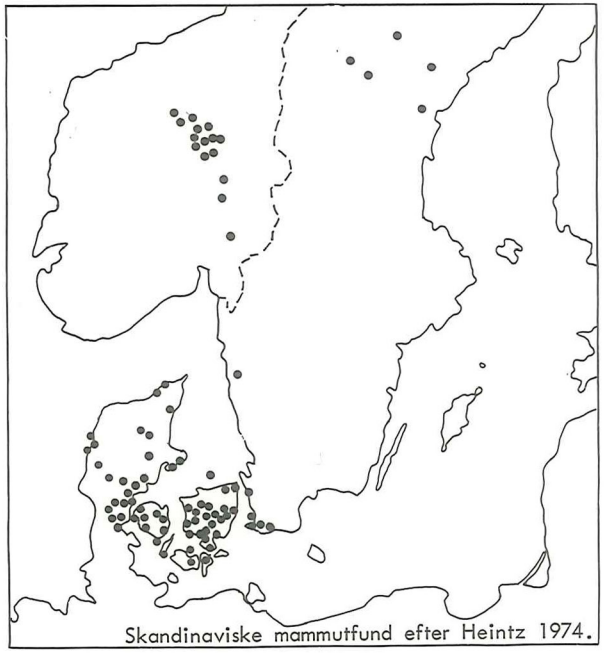
Figur 6. Figuren viser den relative placering af det Euroasiske kontinent i forhold til Lomonosov Ryggen for henholdsvis cirka 60 millioner år siden og idag. Den indtegnede shelfrand viser dennes position for cirka 60 millioner år siden, den nutidige shelfrand er ikke indtegnet.

Studiet af jordskælvscentre viser, at de inden for polbassinet koncentrerer sig meget nøje omkring Nansen Ryggen, og at denne er en fortsættelse af en seismisk aktiv zone (det vil sige med mange jordskælv), der i Nordatlanten falder sammen med den nuværende spredningsakse (Varv 3, 1978). Nansen Ryggen, der deler det Euroasiske Bassin op i to symmetriske bassiner (Fram- og Nansen Bassinet) forklarer således dannelsen af dem, idet den også idag er den aktive spredningsakse, omkring hvilken dannelsen af hele det Euroasiske Bassin er foregået ved simpel seafloor-spreading. Denne dannelsesteori er blevet bekræftet af magnetiske data, der er blevet indhentet fra området i de senere år. De magnetiske afvigelser (anomalier) fra en del af det Euroasiske Bassin er vist i figur 4. Man hæfter sig ved det regelmæssige og tydeligt lineære forløb af afvigelserne, et typisk tegn på, at området er dannet på denne måde. Studiet af de magnetiske anomalier giver endvidere mulighed for at datere begivenhederne. Vores tidligere gæt på et sammenfald med de samme processer i det nordøstatlantiske område bliver herved bekræftet, idet studiet af anomalierne tyder på, at dannelsen af det Euroasiske Bassin startede for lige godt 60 millioner år siden.



Figur 4. Kort over de magnetiske anomalier i en del af det Euroasiske Bassin nord for Grønland og Svalbard. Den centrale række af kraftige anomalier falder sammen med Nansen Ryggen. De mere flade anomalier på flankerne af ryggen afspejler seafloor-spreading processer.

Figur 4. Stødtand af mammut indsamlet omkring 1930 af Otto Geist alias Agvook - den hvide eskimo.



Snyltehveps i rav - lidt formindsket.

Sven Gisle Larsson: Baltic Amber, a Palaeobiological Study. Bind 1 af en bogserie om insekter, ENTOMONOGRAPH, udgivet 1978 af Scandinavian Science Press (Danmark). 192 sider, illustreret. (Engelsk). Pris: 120 kr.

Rav fra Østersø-landene har fascineret mennesker siden oldtiden på grund af dets skønhed og dets mystik. Ravets egenskaber og dets indeslutninger af smukt bevarede insekter og andre fossiler er behandlet i en uoverskuelig mængde af store og små publikationer, men vi har savnet en samlet oversigt over ravets egenskaber, oprindelse og dets indeslutninger.

Gisle Larssons smukke bog er et spændende forsøg på at anskue ravets historie med biologens øjne og belyse de mange problemer og tolkninger som knytter sig til ravets dannelse og videre skæbne og til ravskovenes klima, plantevækst og dyreliv.

Baltic Amber er ikke en let bog. Den henvender sig især til læsere, som i forvejen er fortrolige med de mange insektgrupper og deres biologi, men den er overalt forsynet med henvisninger til andre publikationer om de emner, som behandles. Den er således en uvurderlig hjælp for enhver, som vil trænge dybere ind i et af bogens mange emner.

Efter en indledning om harpiks, rav og ravets kemi, skildres oprindelsen af det nordjyske, sjællandske og baltiske rav. Derefter behandles ravets flora og fauna i tilknytning til levevis og miljø, og de fossile arter eller slægter nævnes med henvisning til, hvor de er beskrevet. Endelig følger en oversigt over rav-skovens sammensætning, natur, klima og dyreliv. Der er en fortegnelse over rav-fossiler i Zoologisk Museum og et register over latinske navne på de omtalte planter og dyr.

Wienberg Rasmussen.

giske hændelser siden Prækambrisk tid. Endvidere er områder, der har været udsat for foldning i tiden efter Prækambrium, markeret, og endelig finder man placeringen af de nuværende spredningsakser.

To forhold springer i øjnene når figur 3 betragtes: (a) Den meget asymmetriske placering i polbassinet af den nuværende spredningsakse betyder, at hele det Arktiske Oceans dannelse ikke kan forklares alene ud fra denne, og (b) Foldebælterne smyger sig så at sige omkring det Ameriasiske Bassin, hvorimod de afskæres af det Euroasiske Bassin. Dette sidste forhold kunne tyde på at dannelsen af i hvert fald dele af det Ameriasiske Bassin hænger sammen med de omkransende foldebælter, og at det Euroasiske Bassin sandsynligvis er yngre, da det skærer over foldebælterne.

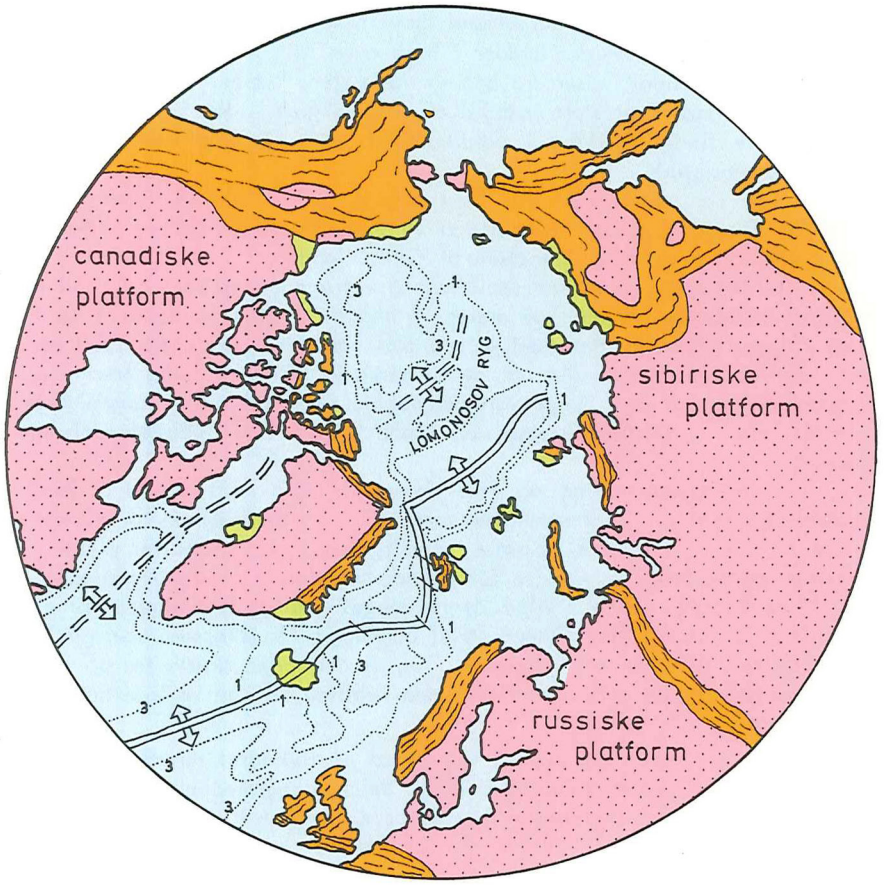
I den pladetektoniske teori (se Varv 3, 1972 og Varv 1, 1978) er indbygget en snæver forbindelse mellem seafloor-spreading processer og bjergkædefoldning. Det er derfor rimeligt at gætte på, at dele af oceanbunden i det Ameriasiske Bassin er dannet samtidig med den såkaldte Innuitiske foldekæde, der findes i Nordgrønland, Arktiske Canada og Alaska (se figur 3). Denne bjergkædedannelse fandt sted i Jordens Devon-tid, altså for cirka 350 - 400 millioner år siden.

Det ville være interessant, om noget af denne gamle oceanbund var bevaret, for mens 350 millioner år ikke er særligt meget for en bjergkæde, er det overordentlig sjældent at finde så gammel en oceanbund. Det er ikke fordi oceanbundsdannelse er en særlig ny proces i Jordens historie, men skyldes, som omtalt i en tidligere artikel (Varv 1, 1978), at den nydannede oceanbund i løbet af geologisk set ret kort tid "destrueres" og genoptages i Jordens indre langs de såkaldte dybgrave (subduktionszoner).

Forholdene i det Euroasiske bassin synes mere enkle, idet den Nordatlantiske Ryg (figur 3) via en transform forkastning fortsætter op i dette område, så allerede inden vi ser på detail-data kan vi slutte, at i hvert fald dele af det Euroasiske Bassin må være dannet på samme måde og på samme tid som det Nordatlantiske Ocean (se Varv 3, 1978). Den transforme forkastning som vi allerede omtalte i den foregående artikel betinger iøvrigt den til tider meget dybe Lena Kanal.

DE TRE RYGGE - NØGLEN TIL DET ARKTISKE OCEANS HISTORIE ?

Angrebsvinklen til forståelsen af det Arktiske Ocean vil i dette afsnit være forekomsten af de tre meget markante rygge, Nansen Ryggen, Lomonosov Ryggen og Alpha Ryggen. En stor del af den forskning der er udført koncentrerer sig nemlig om dem, og en acceptabel dannelsesteori må indbefatte, ja til dels opbygges omkring forekomsten af ryggene.



Levende & uddød spredningsakse

Mesozoiske & Kænozoiske platforme (Trias - Nutid)

Prækambriske & Palæozoiske platforme (til Trias)

Foldebælter yngre end Prækambrium

Havdybder i kilometer

Figur 3. Stærkt forenklet billede af de geologiske og geofysiske forhold i det arktiske område.

GEOTERMISK ENERGI I DANMARK ?

Olaf Michelsen, Finn Bertelsen, Søren Priisholm,
Lise Holm, Edmund Gosk og Troels Layer.

På baggrund af den voksende interesse for indvinding og udnyttelse af geotermisk energi fra Danmarks undergrund dannedes i 1977 på Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU) en projektgruppe, hvis primære arbejdsområder er rådgivning og undersøgelser i forbindelse med aktuelle boringer efter geotermisk vand, samt kortlægning af potentielle områder og formationer.

HVAD ER GEOTERMISK ENERGI ?

Ordet geotermi stammer fra græsk ge, der betyder jord, og therme, varme. Geotermisk energi hidrører fra Jordens indre og egen varme, (Varv 1975, 1) og den må ikke forveksles med jordvarme, som er den opsamlede solvarme i overfladenære lag.

Man har i mange år vidst, at temperaturen stiger med dybden. Årsagen til temperaturstigningen er en varmetilførsel dels fra Jordens indre og dels fra radioaktive spaltningsprocesser, der hovedsagelig foregår i den øvre del af jordskorpen, hvor de radioaktive stoffer er koncentreret. De to processer: varmeledning og varmeproduktion bestemmes sammen med bjergarternes evne til at lede varme, størrelsen af den geotermiske gradient, der defineres som temperaturstigningen i Celciusgrader per 1 km's dybde. Jo større den geotermiske gradient er, desto bedre betingelser er der for udnyttelse af geotermisk energi, ganske enkelt fordi områder med høj temperatur dermed findes tættere ved overfladen.

I tektonisk aktive områder (jordskælvsområder), hvor de smeltede, omkring 1000° C varme magmaer findes i ringe dybde, kan den geotermiske gradient være 100°C/km, mens den typiske værdi andre steder er på 15-40°C/km. For Danmarks vedkommende kan den geotermiske gradient nå op til 35°C/km.

Ved udnyttelse af den geotermiske energi bringes varmeenergien op ved hjælp af vand eller vanddamp, der findes i undergrunden eller tilføres enten i form af det vand som naturligt findes i undergrunden eller vand tilført ved nedpumpning.

Afhængig af det geotermiske vands temperatur og oprindelse skelnes mellem tre former for geotermiske energikilder:

lavtemperatur-reservoirer
højtemperatur-reservoirer
"Hot Dry Rocks" (varmt grundfjeld)

I et lavtemperatur-område som det danske skal to geologiske forudsætninger være opfyldt, før en indvinding af geotermisk energi kan finde sted. For det første skal der findes et vandførende reservoir af tilstrækkelig størrelse, og for det andet skal reservoiret befinde sig i en passende dybde, således at der opnås en tilstrækkelig høj temperatur.

Et reservoir består af bjergarter, der er porøse, det vil sige, at porerne mellem mineralpartiklerne kan indeholde væsker som vand eller olie, eller luftarter som naturgas. Porøsiteten kan skyldes bevarede oprindelige hulrum mellem bjergartens partikler (primær porøsitet), eller kan være dannet ved opløsning af dele af bjergarten eller ved opsprækning af bjergarten (sekundær porøsitet).

For at kunne udvinde væsker eller gasser fra en reservoir-bjergart er det nødvendigt, at de enkelte hulrum står i forbindelse med hinanden, så væske eller gas kan strømme igennem bjergarten. Denne egenskab kaldes permeabilitet. Sandsten og kalksten er ofte gode reservoir-bjergarter, hvorimod lersten virker bremsende på en eventuel gennemstrømning.

GEOTERMISK ENERGI I DANMARKS UNDERGRUND

Danmark var gennem store dele af den geologiske historie delt op i to aflejringsbassiner: Det danske delbassin og Det nordtyske Bassin. I Danmark ses aflejringer fra næsten alle geologiske perioder, som angivet på figur 1. Det drejer sig i overvejende grad om havaflejringer, der som indfyldningsmateriale er afsat under gentagne indsynkninger af bassinerne eller dele deraf.

Afhængig af indsynkningshastigheden, hævningen af de tilstødende landområder, af deres geologiske opbygning og af klimaet, er det materiale, der blev aflejret i bassinerne, af vekslende kornstørrelse og sammensætning. Derfor består lagserien af vekslende grov- til finkornede sandsten, lersten, kalksten, stensalt med mere.

I Det danske delbassin er det især Trias-Jura lagserien, der har interesse i forbindelse med udnyttelse af geotermisk energi, men også ældre lag vil kunne få betydning. Mellem Jura (Haldager Formationen) og Øvre Trias til Nedre Jura (Gassum Formationen) er begge delta-aflejringer bestående af mellem- til finkornede sandsten. Nedre og Mellem Trias er, specielt i den nordlige del af bassinet, udviklet som rødlige og brune, sandede aflejringer afsat i lavvandede laguner eller på flodsletter. Af end-

ekspedition, således er vor landsmand Ejnar Mikkelsen i 1906 ude og lede efter ukendt land, som det hedder i hans egen beretning, i området nord for Alaska. "Landet" viser sig dog at være store "is-øer", der er mørkfarvede på grund af et stort indhold af sten og grus. Idag kan vi fastslå, at der ikke findes fastland i polarbassinet nord for Kap Morris Jesup, Grønlands nordspids.

Som før nævnt kom der først rigtigt skub i udforskningen af det Arktiske Ocean i årene efter anden verdenskrig, men allerede inden da var diskussionen omkring dannelsen af dette i gang.

I 1949 opdagedes Lomonosov Ryggen, en meget markant ryg med en minimal havdybde på kun 954 meter. I midten af 50'erne opdages de to andre rygge, Alpha Ryggen med en minimal vanddybde på cirka 1800 meter, og Nansen Ryggen der når op til cirka 1500 meter under havniveau (navngivningen af disse rygge varierer noget, således kaldes Nansen Ryggen til tider for Gakkel Ryggen, og Alpha Ryggen for Alpha-Mendeleyev Ryggen).

Geofysikerne Ewing og Press kunne i 1955 udfra studiet af jordskælvsbølger påvise, at skorpesammensætningen i polarbassinet var af samme natur som i de store oceaner, nemlig hvad man kortfattet plejer at betegne som oceanisk skorpe (se foregående artikler om oceanbundsdannelse, Varv 1 og 3, 1978). Med denne meget vigtige iagttagelse var det godtgjort, at det Arktiske Ocean såvel oceanografisk (Nansen) som geologisk (Ewing og Press) var "oceanisk", og at dannelsen skulle ses på linie med dannelsen af de øvrige oceaner uden relation til den særlige nordlige placering.

Næste væsentlige skridt i retning af en forbedret forståelse af det Arktiske Ocean fulgte allerede i 1956, da oceanografen og geofysikeren Heezen postulerede, at Nansen Ryggen er en fortsættelse af den Nordatlantiske Ryg (se Varv 3, 1978). Dette forhold, som læseren måske allerede havde gættet på, er senere tilfulde blevet bekræftet, men man skal erindre sig, at de fulde konsekvenser af dette først fremstod på et senere tidspunkt, da seafloor-spreading teorien var fremsat (1963, se Varv 1, 1978). Vi skal senere se nærmere på dette forhold i et afsnit om de tre "rygge".

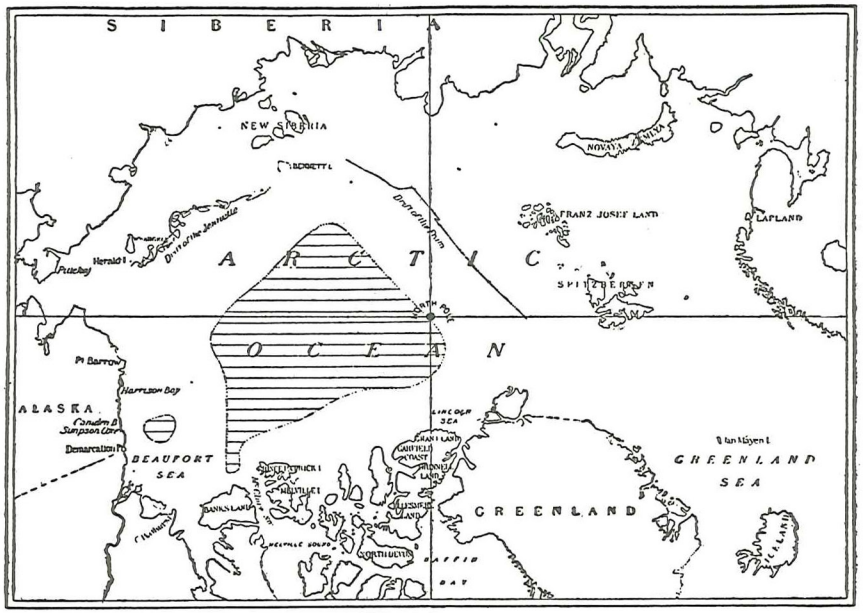
Siden 50'ernes store opdagelser har ekspeditioner med isbryder, fly og helikopter skaffet et væld af nye geofysiske data.

DE GEOLOGISKE OG GEOFYSISKE FORHOLD

I figur 3 er der skitsemæssigt gengivet nogle af de vigtigste geologiske og geofysiske forhold omkring det Arktiske Ocean. På figuren er der vist en række gamle Prækambriske platforme, det vil sige, stabile områder, der ikke har været udsat for foldning eller andre væsentlige geolo-

UDFORSKNINGEN FØR OG NU.

Rækken af ekspeditioner til de polare områder er omfattende, men egentlig kun ganske få har haft et egentlig videnskabelig sigte - ud over at nå langt mod nord. Blandt ekspeditionerne i det nordpolare område er der grund til at fremhæve Fridtjof Nansens "FRAM - ekspedition" i 1904. Nansen og hans folk lod sig, ombord på skibet FRAM, fryse inde i isen i polarbassinet i nærheden af Berings Strædet (se figur 1), og drev derefter med isen tværs igennem den del af polbassinet, der idag er opkaldt efter ekspeditionen, Fram- og Nansen Bassinet. Undervejs gjordes en lang række observationer vedrørende is og vejrforhold, og der udførtes målinger af dybdeforholdene og de oceanografiske forhold iøvrigt (strømme, vandtemperatur og saltholdighed). Nansens videnskabelige materiale, der først skulle overgås i årene efter anden verdenskrig, var enestående, og gjorde op med den den gang fremherskende forestilling om et sammenhængende arktisk kontinent, idet entydige oceaniske forhold med dybder mellem 2000 meter og 4000 meter blev påvist i store dele af området. Jagten på et mindre arktisk kontinent (se også figur 2) fortsatte dog efter Nansens Fram -



Figur 2. Kort over nordpolsområdet fra National Geographical Magazine, 1904. Det skraverede areal viser det formodede arktiske kontinent. Bemærk at Nansens drift rute med "Fram" er indtegnet.

nu ældre dannelser bør sandsten fra Nedre Kambrium og Nedre Perm fremhæves, men forekomster heraf er hidtil kun truffet i meget få og dybe boringer.

I den nordlige del af Det nordtyske Bassin (Sønderjylland og Lolland-Falster området) er interessen rettet mod sandsten fra Nedre Trias og Nedre Perm, der ligesom i Det danske delbassin er rødlige og præget af afsætning på landjorden. Endelig vil Nedre Karbone og Øvre Permiske kalksten formodentlig her kunne udnyttes i begrænset omfang.

Skrivekridt og Danien-kalk (Øvre Kridt - ældste Tertiær) forekommer i begge bassiner og kalkstenene udnyttes mange steder som indvindingsreservoirer for drikkevand. Kalkstenslagene ligger dog intetsteds så dybt, at udvinding af geotermisk energi kan komme på tale.

HVORDAN OPSPORES VANDFØRENDE RESERVOIRER?

Ved kortlægning og vurdering af undergrundens reservoirer benytter geologerne blandt andet følgende hjælpemidler:

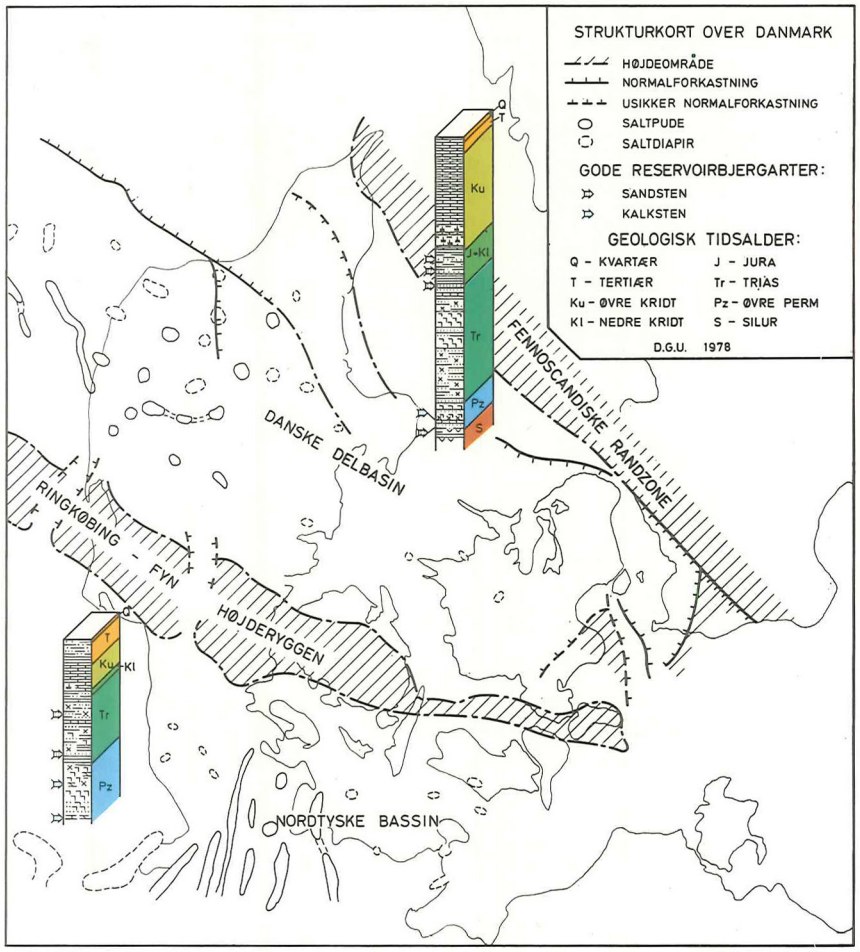
seismiske undersøgelser
informationer fra dybdeboringer

I Danmark udgøres overfladen næsten udelukkende af istidsdannelser eller endnu yngre lag. Man kan derfor ikke som i mange andre lande studere undergrundens ældre bjergarter i naturlige blotninger eller stenbrud. I Sydsverige samt på Bornholm og Helgoland findes dog tilgængelige blotninger som følge af landhævninger og forkastninger. Flere af vore ældre formationer kan derfor godt undersøges direkte. Information fra sådanne lokaliteter er et værdifuldt supplement til de meget bekostelige data fra seismiske undersøgelser og boringer.

Ved seismiske undersøgelser sendes lydbølger, frembragt ved affyring af sprængladninger i jordoverfladen, ned i undergrunden. Lyden forplanter sig med forskellig hastighed alt efter bjergarternes tæthed, og fra grænserne mellem lag af uens sammensætning sker en tilbagekastning af lydbølger.

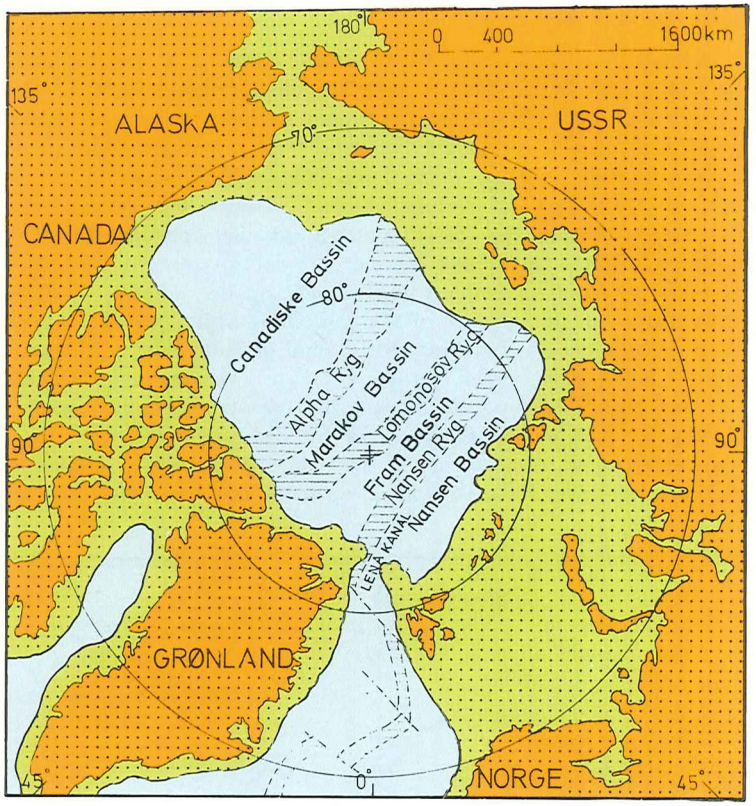
Ved at måle tiden fra eksplosion til ankomst af de tilbagekastede lydbølger i en række måleapparater (geofoner) kan lydens lodrette forplantningstid til de enkelte lagflader under eksplosionsstedet beregnes.

I praksis "skyder" man i en serie punkter langs en fastlagt linie i terrænet, og enkeltmålingerne kombineres og udtegnes som et seismogram. Er lydens hastighed igennem de enkelte lag målt i et borehul nær linien, kan seismogrammet omsættes fra tid til dybde og tykkelsen af de enkelte lag kan beregnes (figur 2).



Figur 1. Strukturkort over Danmark (efter Baartman 1976 og Bjelm m.fl. 1977). Geologiske perioder med tilhørende lagfølge i Det danske delbassin og Det nordtyske Bassin er illustreret ved hjælp af søjler.

I forbindelse med olieboringerne er der i de seneste årtier udført seismiske undersøgelser over hele landet. En tolkning af dem er en af forudsætningerne for at kortlægge de mulige reservoirer. Ved planlægning af en boring efter geotermisk vand kan det blive nødvendigt at gennemføre supplerende seismik i det pågældende område.



Figur 1. Landområder (brune) og shelfområder (grønne) er begge vist med prikket signatur. De oceaniske områder har blå farve, og de tre markante rygge i det Arktiske Ocean, samt den Nordatlantiske Ryg, er vist med vandret skravering.

Den laveste vanddybde der er iagttaget over de tre rygge er 954 meter (Lomonosov Ryggen), mens vanddybder på mellem 1500 meter og 2500 meter er mere almindelige over de to andre rygge. Det er endvidere karakteristisk, at Lomonosov Ryggen er forholdsvis flad, hvorimod de to andre rygge mere har karakter af undersøiske bjergkæder med et ujævnt relief.

Det Canadiske Bassin og Marakov Bassinet danner tilsammen det såkaldte Ameriasiske Bassin, og Fram - Nansen bassinerne tilsammen det Euroasiske Bassin. De maksimale havdybder i hvert af disse delbassiner ligger mellem 4000 meter og 5000 meter.

DET ARKTISKE OCEAN

af Hans Christian Larsen

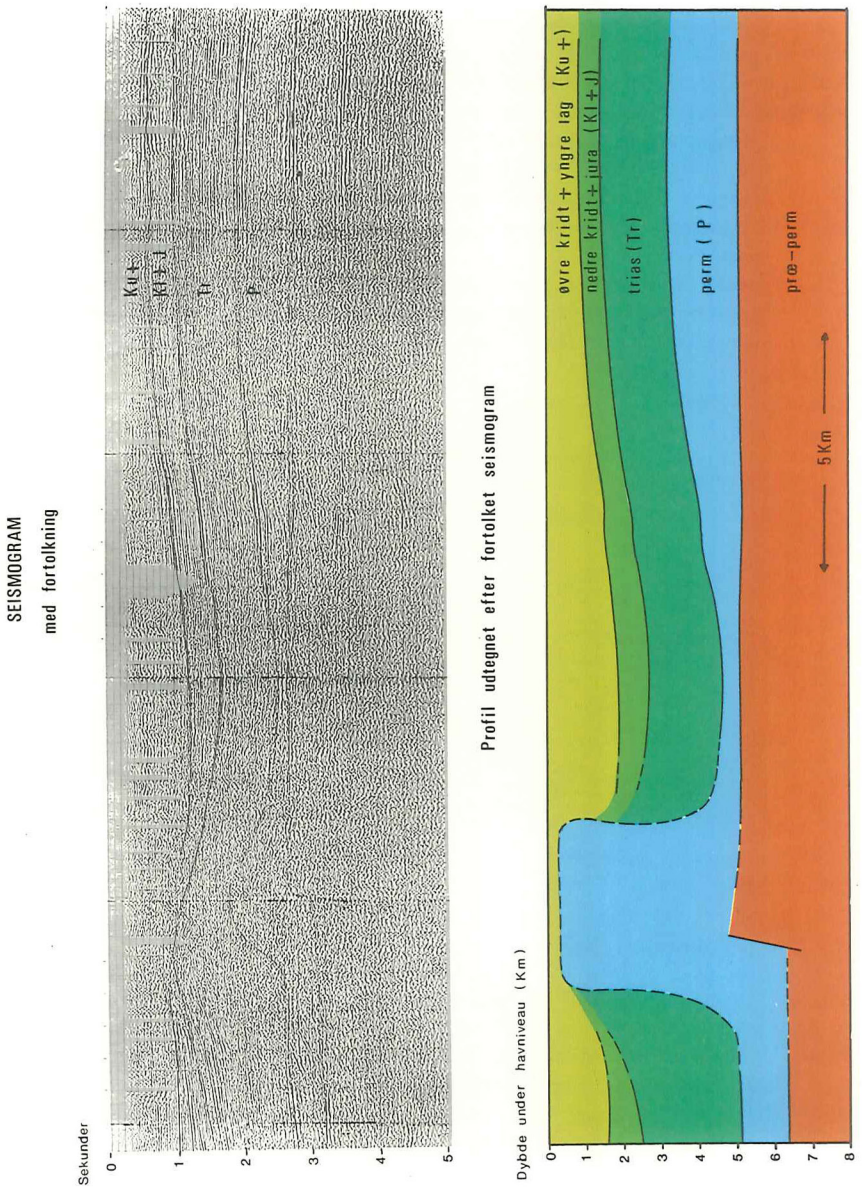
I denne tredie, og foreløbig sidste artikel om oceanernes dannelse skal vi beskæftige os med det Arktiske Ocean, som sammen med for eksempel det Caraibiske hav tilhører en gruppe af mindre oceaner, i modsætning til de store oceaner som for eksempel Stillehavet, Atlanten og det Indiske Ocean.

Vor viden om dannelsen af det Arktiske Ocean er endnu temmelig mangelfuld, dels på grund af de barske klimatiske forhold og det udbredte isdække, der umuliggør konventionelle undersøgelser fra skib, og dels fordi forholdene i store dele af området synes temmelig komplicerede. Selv om området næppe kan betegnes som et "hvidt område" i videnskabelig forstand, så er der dog mange uløste spørgsmål, og netop nu planlægges en ny fælles amerikansk, canadisk, norsk og dansk ekspedition til at løbe af stabelen i foråret 1979. Denne ekspedition, "FRAM 1" - ekspeditionen, opkaldt efter Fridtjof Nansens skib FRAM, vil på en stor isflage opbygge en videnskabelig station, hvorfra biologer, oceanografer, geofysikere og geologer kan arbejde. Isflagens naturlige drift vil gøre det muligt at udforske betydelige dele af oceanet.

DET ARKTISKE OCEANS DYBDEFORHOLD

Før vi går videre med selve den geologiske og geofysiske udforskning af det Arktiske Ocean skal vi se lidt på dybdeforholdene. En meget forenklet gengivelse af dybderne er gengivet i figur 1. Fastlandsområderne fremstår her i brunt, de lavvandede shelfområder og tilgrænsende overgangszoner i grønt og de oceaniske områder i blåt. Endvidere er tre markante rygge vist med skraveret signatur.

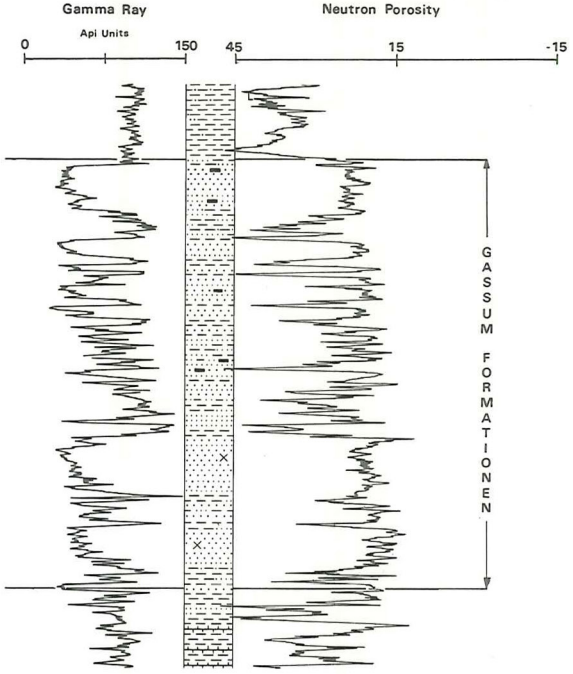
To forskellige og karakteristiske forhold vedrørende det Arktiske Oceans dybdeforhold ses tydeligt i figur 1: (a) Nansen Ryggen, Lomonosov Ryggen og Alpha Ryggen deler oceanet op i en række mindre bassiner, og (b) det Arktiske Ocean har kun én dyb forbindelse, Lena Kanalen med de omliggende oceaner. Den dybe kanal, der iøvrigt rummer den største havdybde, der er målt i det arktiske område (5570 meter), virker som det eneste effektive "afløb" fra det Arktiske Ocean, og betinger blandt andet den kolde østgrønlandske polarstrøm, hvis eksistens og møde med den sydfra kommende varme golfstrøm er med til at give det ustabile vejrlig, der præger størstedelen af det nordatlantiske område.



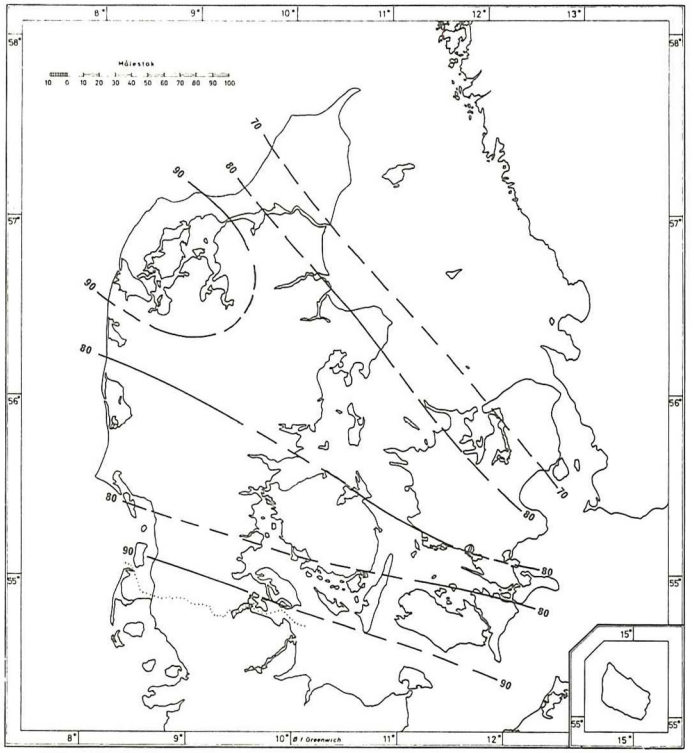
Figur 2. Seismogram og tolkning visende en lagfølge, som er forstyrret af en opskydende saltstruktur. Dybdeangivelserne i seismogrammet viser i sekunder den tid, chockbølgerne er om at trænge ned og returnere til seismografen.

Sideløbende med de seismiske undersøgelser er der udført mange dybe boringer efter olie. Fra hver boring er der indsamlet værdifulde informationer til brug for kortlægning og for bedømmelse af bjergarternes reservoiregenskaber. Det drejer sig om:

bjergartstype bestemt ud fra skylle- og kerneprøver, samt målinger på bjergarternes fysiske egenskaber (figur 3).
alder vurderet på grundlag af prøvernes fossilindhold.
hydrologiske egenskaber (porøsitet-permeabilitet) bestemt på kerneprøver.
geokemiske egenskaber bestemt fra prøver af formationsvand.
geotermiske egenskaber (varmeledningsevne) målt på kerner.
temperatur registreret i forbindelse med de øvrige målinger.



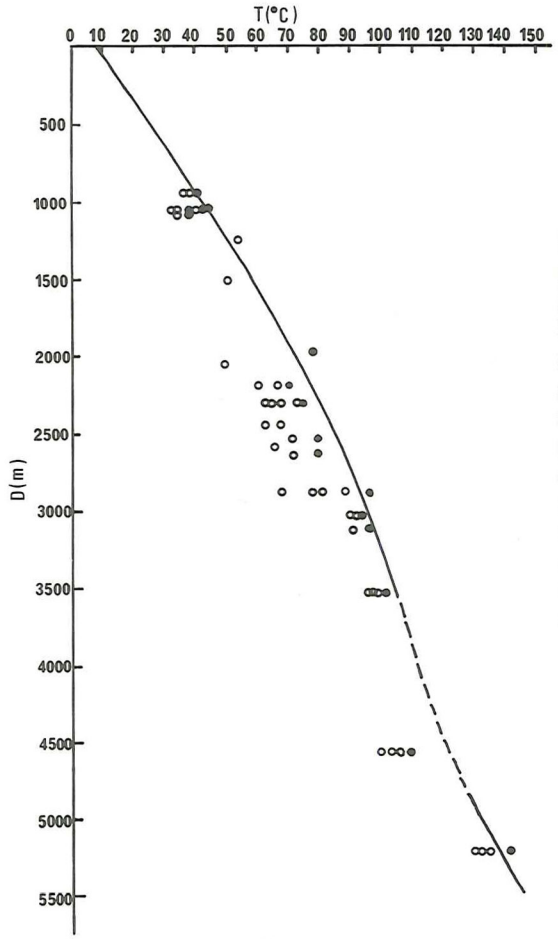
Figur 3. Radioaktivitetsmålinger i Gassum Formationen. "Gamma ray" kurven afspejler bjergarternes naturlige indhold af radioaktive stoffer, og er egnet til at vise niveauer med lerlag, da gammastrålingen hovedsagelig er knyttet til lermineralerne. Ved beskydning af borehullets sider med neutroner aktiveres lagenes indhold af brint, som er bundet i vand, olie og gas. Brintindholdet er dog mindre i gas. "Neutron porosity" kurven er derfor egnet til at vise bjergarternes porøsitet, og om porerne er væske- eller gasfyldte. I begge kurver viser udslag mod højre en høj aktivitet.



Figur 7. Isotermer: kurver, der angiver temperaturvariationerne, målt i °C, i 3000 meters dybde (efter Balling & Madsen 1978).

direkte i fjernvarmenettets ledningssystem på grund af fare for korrosion og udfældning af salte. Overførslen af energi fra formationsvandet til fjernvarmevandet skal af denne grund foregå via en varmeveksler. Da returvandet i de eksisterende fjernvarmesystemer ikke kommer under cirka 40°, kan formationsvandet næppe afkøles til under 50° C ved brug af varmeveksling, inden det pumpes tilbage i formationen.

Ved planlægning af fremtidige anlæg vil det dog være muligt, at uddrage energi ikke blot til boligopvarmning og husholdningsbrug, men også til drift af gartnerier og svømmehaller. En sådan ekstraudnyttelse baseres på restenergien i formationsvandet efter primærafkølingen i fjernvarmeværket til cirka 50° C. Omkostningerne ved udnyttelsen af denne restenergi i temperaturområdet 50-25° C vil være særdeles lave, idet den principielt kun forudsætter indkobling af et ekstra varmevekslingsanlæg i systemet. Det må fremhæves, at de altoverskyggende omkostninger i forbindelse med etableringen af geotermiske anlæg er forbundet med selve borearbejdet.



Figur 6. Temperaturstigning (vandret) med dybden (lodret) i Det danske delbassin (efter Balling og Madsen 1978). Målingerne stammer fra forskellige boringer. Ukorrigerede temperaturer er angivet med åbne cirkler, korrigerede som udfyldte cirkler. Kurvens stærkere hældning under 3000 meter viser en aftagende geotermisk gradient med dybden.

nævnte volumen (4 km^3) til 40° C resultere i frigivelse af en energimængde svarende til 12 millioner tons olie eller cirka 2/3 af Danmarks årlige energiforbrug.

Til trods for at der således er forholdsvis store energimængder bundet i undergrunden, er det dog begrænset, hvor stor en del af denne reserve, der kan udnyttes. For det første er der tekniske og økonomiske grænser for, hvor dybt der kan bores, såfremt en indvinding overhovedet skal være rentabel. For det andet gælder, at det kun er dele af lagserien, der har de nødvendige reservoirmæssige karakterer i det danske område.

Det oppumpede vand fra danske geotermiske reservoirer vil formentlig i alle tilfælde være stærkt saltholdigt og vil derfor ikke kunne udledes

Resultaterne, der er indhøstet ved dybdeboringerne, danner grundlaget for en inddeling af den gennemborede lagserie i enheder af karakteristisk bjergartssammensætning. Sådanne enheder kaldes formationer, der igen kan inddeles i underordnede led.

Ved at sammenholde de inddelte lagserier i de enkelte boringer med de seismiske resultater, er det muligt at fastlægge den rumlige udbredelse af de fleste formationer. Almindeligvis udtegnes kort over en formations tykkelse og udbredelse, samt dybdekort over dens overflade (se figur 4).

Måling af temperaturstigningen med dybden i et borehul gør det muligt at bestemme den geotermiske gradient på det pågældende sted, figur 6 og resultaterne af temperaturmålingerne kan afbildes på forskellige typer kort. Man kan for eksempel vise, hvordan den geotermiske gradient varierer inden for en bestemt del af landet - altså vise forekomsten af "varme" og "kolde" områder. Eller man kan vise temperaturvariationen i en bestemt dybde (figur 7).

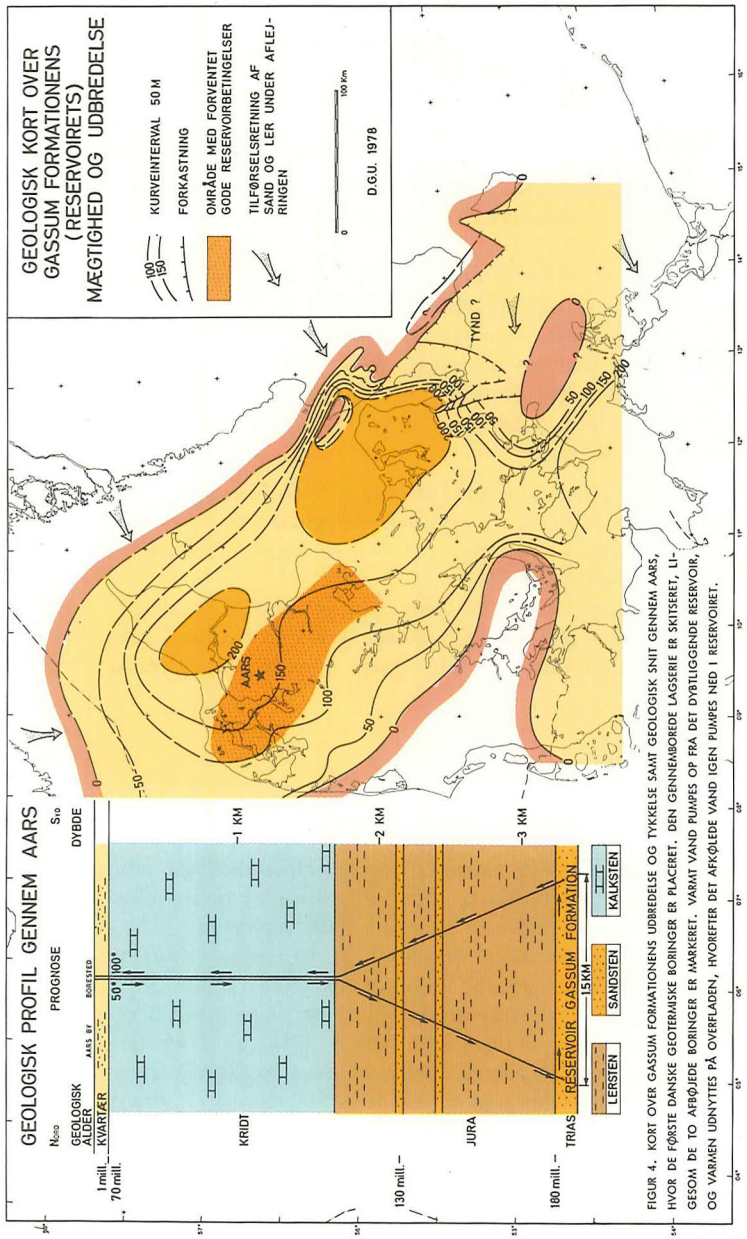
Sammenholdes de geologiske kort over formationernes tykkelse, udbredelse, porøsitet med mere med temperaturkortene, er det derefter muligt at udvælge områder, hvor gode reservoirer ligger dybt nok til at være tilstrækkeligt varme (figur 5).

De geologisk udvalgte områder sammenholdes derpå med kort over eksisterende eller planlagte fjernvarmeanlæg, hvorved der skabes et teknisk/økonomisk grundlag for at udpege egnede boresteder for indvindingsanlæg.

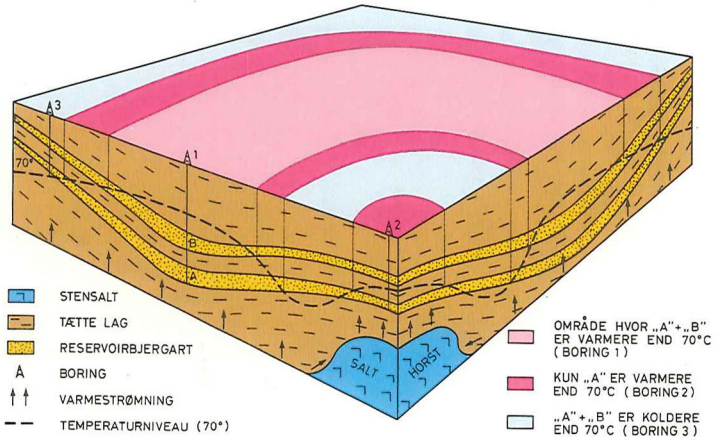
AARS-PROJEKTET

I november 1976 nedsatte handelsministeriet en arbejdsgruppe, der skulle undersøge mulighederne for udnyttelse af geotermisk energi i Danmark. I februar 1977 fremkom gruppen med rapporten: "Udnyttelse af geotermisk energi i Danmark. Rapport fra handelsministeriets arbejdsgruppe vedrørende geotermisk energi, februar 1977".

På baggrund af rapporten besluttede regeringen i efteråret 1977 at bevilge det statslige aktieselskab Dansk Olie og Naturgas A/S (DONG) 30 millioner kroner til påbegyndelse af de i rapporten anbefalede forsøgsanlæg. DONG gennemførte på få måneder tekniske, økonomiske og geologiske undersøgelser i samarbejde med blandt andet DGU, Risø og Laboratoriet for Geofysik ved Århus Universitet (AU). Undersøgelserne førte til anbefaling af det igangværende Aars-projekt. Eneretsbevillingen til efterforskning og indvinding af geotermisk energi blev givet til DONG i sommeren 1978.



FIGUR 4. KORT OVER GASSUM FORMATIONENS UDBREDELSE OG TYKKELSE SAMT GEOLOGISK SNIT GENNEM AARS, HVOR DE FØRSTE DANSKE GEOTERMISKE BORINGER ER PLACERET. DEN GENNEMBOREDE LAGSERIE ER SKITSERET, LIGESOM DE TO AFBØJEDE BORINGER ER MARKERET. VARMT VAND PUMPES OP FRA DET DYBTLIGGENDE RESERVOIR, OG VARMEN UDNYTTES PÅ OVERFLADEN, HVOREFTER DET AFKØLEDE VAND IGEN PUMPES NED I RESERVOIRET.



Figur 5. Blokdiagram, der viser fremgangsmåden ved udvælgelse af geotermiske prospekteringsområder. Der kræves kendskab til reservoirernes rumlige udbredelse og kvalitet, samt temperaturvariationen i undergrunden. Bemærk det lovende område over saltstrukturen, hvor temperaturgradienten er høj i forhold til zonen omkring strukturen. Det skyldes saltets høje varmeledningsevne.

Aars er udvalgt af geologiske grunde, fordi den Triassiske sandstensaflejring (Gassum Formationen) her ligger særdeles dybt - cirka 3 km under overfladen, og fordi området har en forholdsvis høj geotermisk gradient - 30°C/km (figur 4). Den forventede formationstemperatur er derfor omkring 100° C.

Endelig vides fra tidligere boringer, at sandstenen i Gassum Formationen er særdeles porøs og permeabel, hvorfor der også kan ventes gode reservoir-egenskaber i Aars. Alt dette, samt muligheden for at udnytte energien i et eksisterende fjernvarmeanlæg i byen, har været væsentlige for udvælgelsen af Aars som første forsøgsområde. Sideløbende med Aarsprojektet gennemfører DGU, Risø og AU en landsdækkende analyse af indvindingsmuligheder.

PERSPEKTIVER

For at give en fornemmelse af de enorme energimængder, der findes opmagasineret i jordskorpen, kan energiindholdet i en søjle med grundflade 1 kvadratkilometer og højde på 4 kilometer, dybdeintervallet fra 1 til 5 km, beregnes. Antages det, at temperaturen vokser med 30°C/km, og at bjergarten afgiver 500 kcal/(m^3x°C), ville afkøling af det oven-