

VARV

NR. 1 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1978



NARSSAQ-PROJEKTET I SYDGRØNLAND ER EN PIONERINDSATS - I DEN FORSTAND, AT MAN FOR FØRSTE GANG FØRSØGER AT FÅ ET TOTALBILLEDE AF MILJØPÅVIRKNINGER VED EN EVENTUEL KOMMENDE URANBRYDNING. DET ER IKKE BARE RADIOAKTIV STRÅLING, MEN AL ANDEN FORM FOR FORURENING (STØJ, STØV, AFFALDSOPHOBNING O.S.V.). NARSSAQ-PROJEKTET ER HOVEDEMNET I DETTE NUMMER, OG PASSENDE VISER FORSIDEBILLEDET KVANEFJELDPLATEAUETS RADIOAKTIVE BJERGARTER I FORGRUNDEN VED ILIMAUSSAQ FJELDET I BAGGRUNDEN TIL VENSTRE OG NARSSAQ GLETSCHEREN. DESUDEN VIL MAN FINDE EN ARTIKEL OM DANNELSE AF NY OCEANBUND, OG VI SKAL ENDELIG PÅ VULKANER I ITALIEN.

15. feb. 1978.

URAN I KVANEFJELD

Tonnageberegningerne vedrørende uranforekomsterne i det nye boreområde på Kvanefjeldet i Sydgrønland er nu afsluttet (se sidste nummer af Varv), og forventninger vedrørende uranmængden i dette område blev fuldt indfriet. Beregningerne har vist, at området indeholder 60 millioner tons malm med en lødighed på 375 gram uran per ton malm. Dette svarer til 16.000 tons uran. De tidligere kendte reserver var 5.800 tons uran, hvilket vil sige, at de kendte uranmængder på Kvanefjeld nu er blevet mere end tredoblet.

Der er planlagt nye og udvidede forsøg med udludningen af uranet fra malmen.

Bjarne Leth Nielsen

POPULÆRE FOREDRAG PÅ GEOLOGISK MUSEUM

Varv bringer på side 31 et kort resume af de to sidste foredrag, der kommer i denne sæson. Foredragene holdes som sædvanlig i auditorium 1, Øster Voldgade 5, tirsdage klokken 19.15 præcis.

VARV

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

Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Mona Hansen, Erling Bondesen, Erik Stenestad.

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 samlekasser (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.

Narssaq - projektet

ET MILJØGEOKEMISK -

ØKOLOGISK FORSKNINGSPROJEKT

af Henning Sørensen og John Rose-Hansen.

Mineralforekomster er som alle andre geologiske dannelser bestanddele af det naturlige miljø. Mineralbrydning vil derfor uundgåeligt påvirke landskab og livsbetingelser omkring en mine. Bare for 10-20 år siden traf man kun i begrænset omfang forholdsregler over for denne påvirkning - især beskyttelse af de landskabelige værdier. Man var i mindre grad opmærksomme på den forurening, som ledsager al minedrift.

I de seneste år er billedet ændret totalt. I mange lande kræves, at der udarbejdes miljøerklæringer, tildels baseret på omfattende undersøgelser, før der gives tilladelse til åbning af en kulmine, bygning af en fabrik, et kraftværk og så videre.

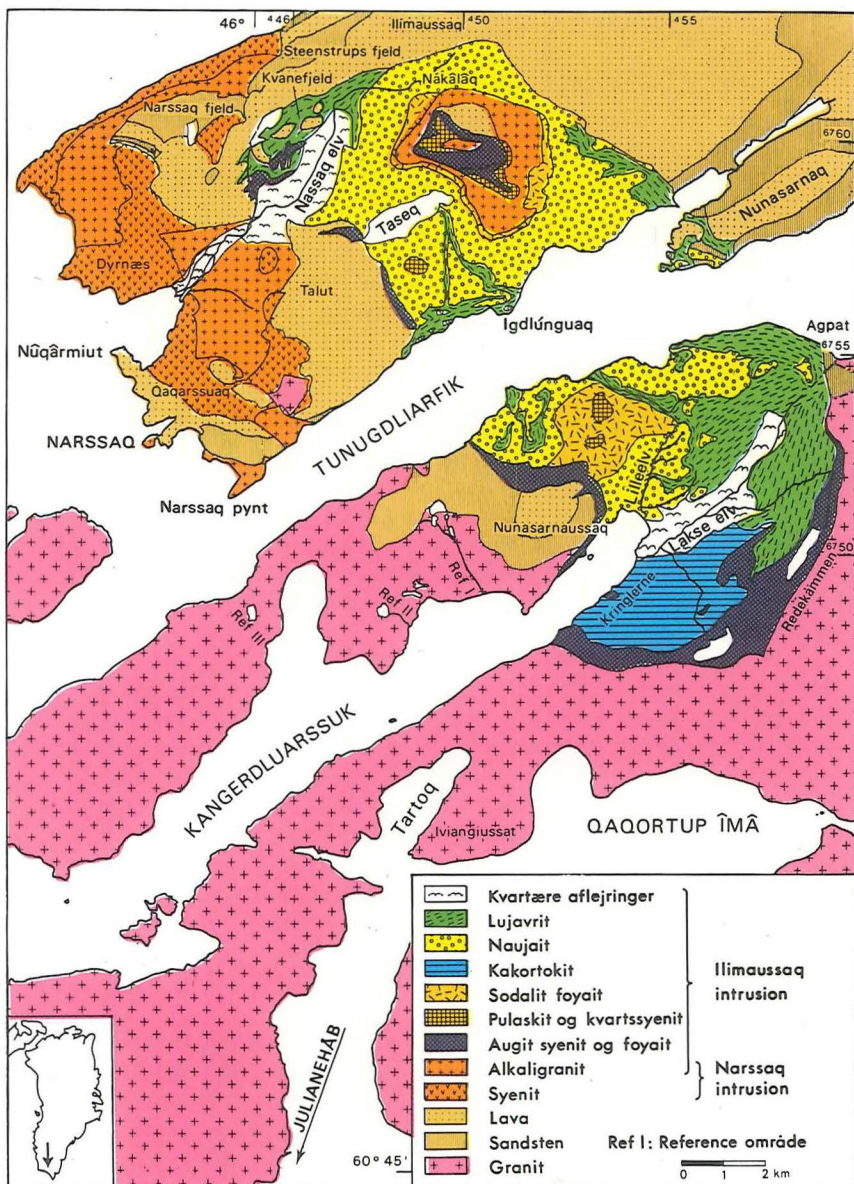
Miljøhensyn har fået en fremtrædende plads i overvejelserne vedrørende udnyttelsen af Grønlands mineralrigdomme. Der foretages for eksempel løbende kontrol af miljøpåvirkningen omkring bly-zink-minen ved Marmorilik, og den eventuelle fremtidige udvinding af olie på sokkelområdet vil blive nøje overvåget.

At man lægger så stor vægt på miljøside af mineraludvinding i Grønland, skyldes, at det kolde klima og de korte somre gør Grønlands natur særligt sårbar over for miljøpåvirkning. Det vil tage mange år for naturen at hele de sår og overvinde de skader, som minedrift kan medføre.

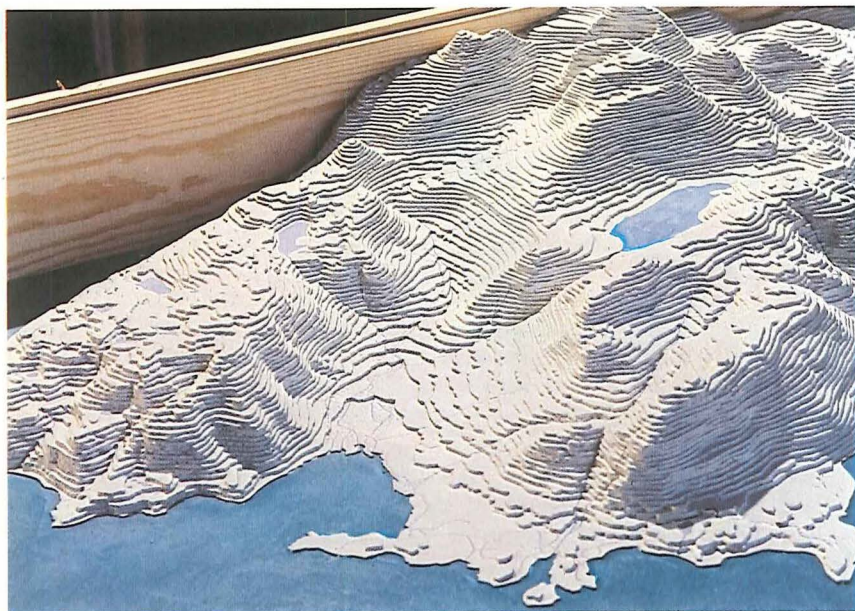
Ved byen Narssaq i Sydgrønland findes et område, som er meget rigt på sjældne mineraler og dermed grundstoffer. Det er Ilimaussaq-intrusionen, som ligger øst for byen - se kortet og Varv 1967,2 - 1968,4 og 1977,4. Intrusionen, som opbygges af nefelinsyeniter, har været genstand for detaljerede geologiske undersøgelser i de sidste 20 år. To typer af mineralforekomster skønnes at kunne blive brydeværdige i en nærmere fremtid: uranforekomsterne ved Kvanefjeld i den nordlige del af intrusionen og zirconiumforekomsterne i den sydlige del på sydkysten af fjorden Kangerdluarssuk.

Vi skal ikke her gøre rede for disse forekomsters geologi eller for anvendelsen af de pågældende grundstoffer - men vil begrænse os til de miljøundersøgelser, som har været udført ved Narssaq siden 1974.

I 1973 var der på Institut for Petrologi, Københavns Universitet, stor interesse for at indlede miljøgeokemiske undersøgelser i Grønland i et område, hvor minedrift kunne forventes. Efter drøftelse af programmet med Grønlands geologiske Undersøgelse (GGU) fandt man frem til, at sådanne undersøgelser bedst kunne igangsættes ved Narssaq. Da Statens naturvidenskabelige Forskningsråd (SNF) på samme tid nedsatte et udvalg vedrørende



GEOLOGISK KORT efter G.G.U.



Udsnit af topografisk model af Narssaq-elvdal udført af byggeleder Ivan Bohm, Narssaq. Dyrnæsbugten ses midt i billedet. Til højre for denne findes Narssaq, som strækker sig ud til Tunugdliarfik fjorden til højre i billedet.



Krystal af mineralet steenstrupin, det vigtigste uranholdige mineral i malmen fra Kvanebjerg (foto Geologisk Centralinstitut).

biologisk forskning i Grønland, lå det lige for at samarbejde bestræbelserne i et fælles miljøgeokemisk-økologisk projekt - Narssaq-projektet. Fra 1974 har dette projekt kørt som et treårigt tværvideenskabeligt forskningsprogram.

Formålet var:

- at etablere en forskningsmæssig baggrund for vurdering af miljøpåvirkningen ved en eventuel minedrift.
- at fastlægge det "jomfruelige" områdes "naturlige forurening" og indhold af fjerntransporterede miljøgifte, som DDT, PBC med mere for gennem senere gentagelse af undersøgelserne at kunne vurdere ændringer i den globale forurening.
- at foretage indgående undersøgelser af de forskellige grundstoffers geokemiske og biogeokemiske kredsløb i et arktisk miljø, hvor fjeldgrunden har en særpræget kemisk sammensætning.

Man valgte at koncentrere undersøgelserne i tre delområder:

1. Narssaq-elvområdet nordøst for Narssaq, hvor blandt andet Kvanefjeldsforekomsterne er beliggende. Elvsystemet har siden 1965 været hydrogeologisk undersøgt, idet området var udvalgt som et repræsentativt bassin under den 'Internationale Hydrologiske Dekade'.
2. Bunden af fjorden Kangerdluarssuk med blandt andet zirconiumforekomsterne.
3. Nogle referenceområder i grundfjeldets graniter, som nefelinsyeniterne er intruderet i. Referenceområderne findes i Kangerdluarssuk få km vest for intrusionen.

Formålet med at foretage detaljerede undersøgelser af det naturlige geokemiske og biologiske miljø i et granitområde er at skaffe oplysninger om, hvorledes et miljø underlejret af "almindelige" bjergarter påvirkes af de klimaforhold og de ydre processer, som også påvirker de i geokemisk henseende særprægede nefelinsyeniter.

Feltundersøgelserne er nu afsluttet, og det meget store datamateriale er under bearbejdelse. I en senere artikel vil vi gennemgå de delprogrammer, som tilsammen udgør projektet, idet vi først må have et overblik over de miljøpåvirkninger, som mineralbrydning i Narssaq-området vil kunne medføre, og som i givet fald skal kunne overvåges og reguleres, blandt andet på grundlag af Narssaq-projektets resultater.

UDVINDING AF URAN AF KVANEFJELDSMALMEN

En eventuel udvinding af uran i Kvanefjeldsområdet vil foregå på den måde, at uranmalmen brydes i et eller flere åbne dagbrud. Malmen knuses ned, og materialet transporteres derefter til en fabrik, der skal opføres så nær minen som muligt. I fabrikken vil malmens indhold af uran og andre grundstoffer som zink, niobium, de sjældne jørdarters metaller, thorium, fluor m.m. blive udvundet hovedsagelig ved kemiske processer, der resulterer i store mængder fast og flydende affald.

Uranmalmen har et gennemsnitligt uranindhold på ca. 300 g per ton (0,03 % = 300 ppm), hvoraf næppe mere end 80 % vil kunne udvindes. En produktion på cirka 1000 ton uran om året vil derfor medføre brydning af mindst 4 millioner tons malm, som skal finknuses og sendes igennem den kemiske fabrik. Resultatet bliver 1000 tons uran, forskellige biprodukter, hvis art og mængde ikke kan beregnes, før processen er fastlagt, og dertil mindst 4 millioner tons fast affald fra fabrikken, hvortil kommer det bjergartsaffald, som skal bortsprænges i minen, for at give plads for brydning af malmen. Mængden af fast affald vil således andrage flere millioner tons, som på grund af knusningen fylder væsentlig mere end malmen, da den sad i fjeldet (fragmenterne er løsere sammenpakket end i de hårde bjergarter). Man vil kunne skaffe noget af affaldet af vejen ved at fylde op i de tømte uranbrud, men en væsentlig del skal enten udledes i fjorden eller oplagres i dalen. Udledning i fjorden synes på forhånd at være en dårlig ide - dels på grund af risikoen for at forurene et fjordkompleks, som danner grundlag for fangst og fiskeri, og dels på grund af affaldets indhold af værdifulde grundstoffer, som eventuelt senere kunne blive økologisk værdifulde. Man vil derfor nok vælge en oplagring i dalen.

Det skal lige indskydes, at en eventuel udvinding af zirconium i Kangerdluarssuk ligeledes vil omfatte brydning og knusning af flere millioner tons malm om året, men her vil man nok sigte mod at oparbejde et koncentrat af de mineraler, som indeholder de værdifulde grundstoffer, nemlig foruden zirconium, niobium og de sjældne jordarters metaller. Produktet (koncentratet) vil først og fremmest bestå af mineralet eudialyt og vil blive koncentreret ved fysisk adskillelse af malmens mineraler - separation efter vægtylde og magnetiske egenskaber. Der skal derfor næppe opføres en fabrik til fremstilling af zirconium og ledsagestoffer ud fra koncentratet, og dermed begrænses forureningen i meget væsentlig grad.

MILJØMÆSSIGE FØLGER AF URANUDVINDING

VED NARSSAQ

Alle led i udvindingen af uran vil kunne påvirke det naturlige miljø i Narssaq-området, og vi vil derfor betragte uranudvindingen led for led.

1. BRYDNING AF URANMALME I ÅBNE DAGBRUD

De åbne brud vil blive anlagt således, at man med diesel- eller el-biler kan køre fra overfladen til bruddenes bund på et system af "bænke" langs bruddenes sider. De enkelte bænke er forbundet med hinanden i spiralform. Brydningen foregår da ved, at bænkenes bagvægge, som vil være mindst 3 m høje, flyttes bagud. Det sker ved bortsprængning af hele vægsektioner. Brudstykkekerne neddeles af maskiner og ved nye sprængnin-



Kvanefjeld set fra sydsiden af Narssaq-elvdal. Den lille knop på fjeldet til venstre er selve Kvanefjeld. Den mørkere bjergart, der findes i dette fjeld, er lava, som overlejrer den grålige radioaktive bjergart. Mineskakten fra 1962 ses som en lille sort prik til venstre i billedet i kanten af plateauet. Fjeldet til højre er Steenstrups fjeld. De radioaktive lujavriter fortsætter i foden af dette fjeld, hvis top består af lava (foto H.Sørensen).

ger, og det neddelte materiale bringes af transportvogne til knuseværket, hvor det finknuses til mel med kornstørrelser under 1 mm. Knuseværket vil kunne placeres i kamre sprængt ud i fjeldet.

Disse processer ledsages af støj, støv, udstødningsgasser fra maskiner og køretøjer og frigivelse af den radioaktive luftart radon. Støjproblemet omfatter larm fra maskineri, køretøjer og fra sprængninger. Problemerne er velkendte og vil blive begrænset til et minimum ved støjdæmpning af maskiner og så videre. Det skal her bemærkes, at Narssaq ligger cirka 10 km fra forekomsten, hvorfor kun bragene fra de større sprængninger vil kunne høres i byen.

Støvproblemet er nært knyttet til sprængninger, opsamling af det nedsprængte materiale, knusning og transport. Støvafgivelse må begrænses til et meget lavt niveau af hensyn til minearbejderne. Hvis det skulle vise sig, at der afgives uacceptable mængder støv, hvad man dog ikke kan udtale sig om på det foreliggende grundlag, vil støvmængden kunne holdes nede ved blandt andet fugtning af minevægge og veje med vand. Knusning i underjordiske kamre vil også begrænse støvafgivelsen, idet støvet



Narssaq-elvdal set fra bunden af dalen. Fjeldet længst til højre er Steenstrups fjeld, Kvanefjeld ses midt i billedet. De radioaktive bjergarter findes under lavadækket i Kvanefjeld og Steenstrups fjeld og kan ses som grålige smuldrende bjergarter i foden af de to fjelde. Mellem fjeldene ses Kvanefjeldets plateau. I udmundningen af dalen ses Dyrnæsbugt. Narssaq ligger til venstre for bugten. Dette og andre fotos viser, at Narssaq-elvdal er bred og forholdsvis plan. Det bliver nok her uranfabrikken og dele af det faste affald skal placeres (foto H.Sørensen).

her kan opsamles i støvfiltre. Eventuelle støvdannelser vil ivotrigt hurtigt blive spredt, idet det næsten altid blæser på Kvanefjeldsplateauet.

At støvafgivelsen skal begrænses skyldes hovedsagelig to forhold. Malmen er en silikatbjergart, hvorfor indånding af større støvmængder vil kunne fremkalde lungesygdommen silicose. Dertil kommer, at der er tale om radioaktivt støv, selvom malmen med det lave uranindhold må karakteriseres som et svagt radioaktivt materiale.

Hvad udstødningsgasserne angår, gælder samme regler som på andre arbejdspladser, der anvender tungt materiel.

Den radioaktive luftart radon er et stort problem i underjordiske uranminer, som derfor skal have meget kraftige ventilationsanlæg. Den regnes ikke for noget problem i dagbrud, hvor den hurtigt opblandes i atmosfæren og føres væk af vinden.

Radon dannes ved den radioaktive nedbrydning af uran og undviger med stor lethed. Den nedbrydes med en halveringstid på 3,8 døgn til

stærkt radioaktive faste datterprodukter, som udsender alfastråler. Ved indånding af radon afsættes disse stoffer i lungevævet og kan fremkalde lungekræft. Det er altså med god grund, at man sætter hårdt ind mod radonforurening, hvor dette er nødvendigt, som i underjordiske mineskakter.

Det bør tilføjes, at malmen er så fattig på uran og thorium, at den radioaktive stråling fra minevæggene ikke vil frembyde noget stort problem.

2. OPARBEJDNING AF MALMEN

OG UDVINDING AF URAN

Man har endnu ikke færdigudviklet den metode, som skal anvendes til at trække uranet ud af Kvanefjeldsmalmen. Det vides for eksempel ikke, om det vil være muligt at foretage en fysisk opkoncentrering af uranmineralerne før den kemiske behandling, eller om man skal behandle hele malmængden med kemikalier til trods for, at der kun er ca. 300 g uran per ton malm.

Vælger man at foretage en fysisk opkoncentrering, vil der som ved brydningen være støj-, støv- og radonproblemer.

Det udviklingsarbejde, som i mere end 20 år er udført på Risø, har resulteret i en udvindingsproces, hvor den knuste malm omdannes til cm-store piller, som derefter ved cirka 700° C bringes til at reagere med svovldioxid (SO₂). Efter denne behandling kan uran udtrækkes af pillerne med vand. Denne proces er netop afprøvet med godt resultat i et "pilot"-anlæg på Risø. Desværre er det kun dele af forekomsten, som kan behandles med denne metode. Malm fra andre dele giver kun et udbytte på 15-20 % af malmens uranindhold. Det vil derfor være nødvendigt at udvikle andre udvindingsmetoder.

Af disse grunde kan man endnu ikke vurdere de forureningsmæssige følger af selve udvindingen. Vælger man behandlingen med SO₂ vil der opstå en stor risiko for svovlforurening. En udvinding af cirka 1000 tons uran om året med denne metode vil kræve en mængde SO₂ svarende til mere end 200.000 tons svovlsyre per år. Denne mængde SO₂ skal fremstilles på stedet. Der vil derfor være risiko for svovlforurening i SO₂-fabrikken, ved uranudvindingen, ved deponeringen af det faste affald fra uranudvindingen og fra det flydende affald. Svovlforurening af SO₂-fabrikken og fra reaktionen ved 700° C mellem uranmalmen og SO₂ adskiller sig i princippet ikke fra svovlforurening fra andre former for malmbehandling. Der findes dog metoder til at holde forureningen inden for de fastsatte grænser.

Vælger man en anden udvindingsmetode, må denne også baseres på at fremstille en væske med uran i opløsning. Fra uranopløsningsne udfældes uran til slut som et gult pulver, "yellow cake", der indeholder 60-70 % uran, og hvis sammensætning iøvrigt varierer med den benyttede me-

tode. Man skulle på forhånd vente, at det meget uranrige produkt er stærkt radioaktivt, men det er ikke tilfældet. Den kemiske behandling har nemlig rensset urankoncentratet for de stærkt radioaktive nedbrydningsprodukter, som er overført til det faste og flydende affald fra oparbejdningen.

3. AFFALDSDEPONERINGEN

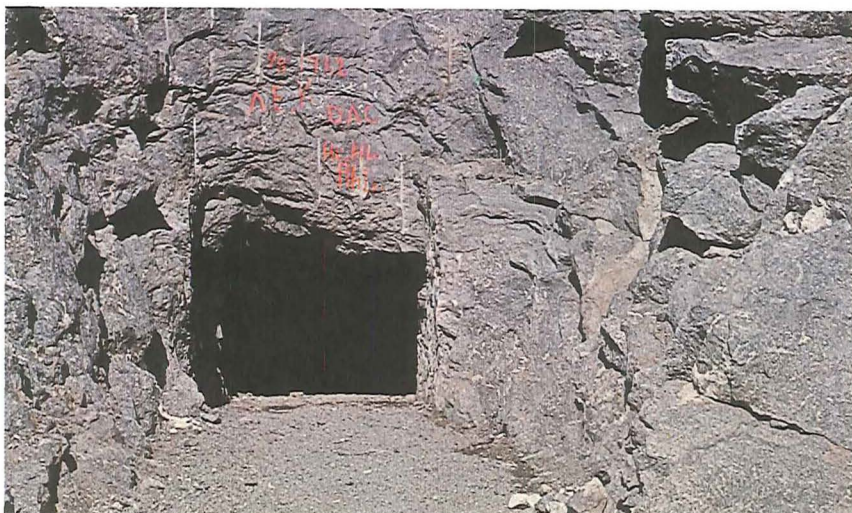
En uranudvinding ved Narssaq svarende til cirka 1000 tons uran per år vil helt sikkert resultere i mindst 4 millioner tons fast affald per år, eller mindst 2.500.000 kubikmeter, og en endnu ukendt mængde flydende affald. 2.500.000 kubikmeter vil i et 25 meter tykt lag optage et område, som måler 100 x 1000 meter.

Det flydende affald vil dels omfatte de opløsninger, som uranet er udfældet af, dels vand, som har været anvendt til køling, skylning med mere. Der skulle være gode muligheder for at recirkulere opløsningerne, som vil indeholde tungmetaller med mere, således at der kun afgives forsvindende små mængder til det naturlige miljø. Dette må nok være et naturligt krav for godkendelse af et mineprojekt, idet miljøet vil være yderst sårbart for sådanne opløsninger. Skyllevandet indeholder støv og vil næppe efter rensning frembyde nogen større forureningsrisiko.

Værre er det med det faste affald, som vil indeholde uran, datterprodukter fra urans radioaktive nedbrydning, såsom radium og radon, tungmetaller, fluor, eventuelt svovlsyre med mere. Disse stoffer vil kunne blive udvasket, hvis nedbør får adgang til affaldsbunkerne, og vil i så fald føres ud i elve, søer og fjorde. En ukontrolleret udledning af disse stoffer vil kunne få uoverskuelige konsekvenser for dyre- og plantelivet i området. Affaldet skal derfor placeres under kontrollerede forhold. Det vand, som siver gennem bunkerne, skal opsamles og renses, før det ledes ud i elve eller fjorde. Løvrigt skal man gennem komprimering af bunker og tildækning med vandstandsende materiale begrænse nedsivningen mest muligt. Denne sidste foranstaltning er også påkrævet for at forhindre, at luftarten radon undviger fra affaldet. Ganske vist vil en udsivning af radon ikke frembyde nogen fare for befolkningen i området, fordi den hurtigt opblandes i luften og føres væk. Men en udsivning af radon fra store uranminer mange steder på jorden vil kunne medvirke til en uacceptabel forhøjelse af radioaktiviteten ved jordoverfladen for vore fjerne efterkommere.

4. TRANSPORTER

Brydning af nogle millioner tons malm og fjeld indebærer ikke blot transport af malm til knuseværk og fabrik, men også transport af affald væk fra fabrikken og af kemikalier, brændstof, bygningsmaterialer med mere til fabrik og mine. En stor del af denne transport vil ske ved hjælp af motor-køretøjer, hvilket kræver omfattende vej anlæg og forurening fra disse, også i byen Narssaq. En del af transporten af materiel bør derfor ske ved transportbånd og rørsystemer.



Mineskakten på Kvanefjeld, hvorfra der i 1962 blev hentet små 200 tons uranmalm til Risø. Skakten er vandret, cirka 20 m lang, og den er placeret i en uranrig bjergart rig på små lyse analcimårer (foto H.Sørensen).



Bunden af Kangerdluarssuk. Til venstre ses Lilleelv, som løber i klipper helt opbygget af nefelinsyeniter. Til højre de bandede kakortokiter, i hvilke de zirconiumrige lag findes. De sidstnævnte er knyttet til den øverste del af de mørke lag og kan anes på grund af en rødlig farve (foto H.S.).

Bekæmpelse af forureningen fra transporterne kræver, at alle anlæg og operationer nøje planlægges, før planerne for uranudvinding kan sættes i gang.

5. LANDSKABSØDELÆGGELSE

Uranminerne, fabriksanlæg, affaldsdeponering og transportanlæg vil ikke kunne undgå at skæmme den meget smukke Narssaq-elvdal. Man vil nok kunne gemme selve de åbne brud bag uforstyrrede klippevægge, således at man ser meget lidt til de store huller nede fra dalen eller fra Narssaq. Men bygninger og veje kan ikke skjules, ej heller affaldsbunkerne. De sidste vil dog kunne placeres bagest i dalen og bagest på Kvanefjeldsplateauet på en sådan måde, at de, når de er dækket af bevoksning, nok vil give et ændret landskabsbillede, men ikke nødvendigvis et grimt landskab.

Også disse aspekter af uranbrydningen kræver nøje planlægning.

MINEDRIFTEN OG DET LOKALE SAMFUND

Myndigheder og borgere i byen Narssaq frygter nok mere de sociale problemer knyttet til en eventuel minedrift end forureningen af det naturlige miljø, og denne drejning skyldes ikke mindst Narssaq-projektets igangværende miljøundersøgelser.

Hvad vil det betyde for en by med 2-3000 indbyggere, at der skal beskæftiges 800-1000 mennesker, når mine og fabrik anlægges, og måske 500 til driften af mine, fabrik og transport og hvordan vil tilflyttere af sandsynligvis mange nationaliteter kunne integreres i det lokale samfund? Og hvad vil der ske, når minerne er udtømte?

Disse problemer er ikke mindre påtrængende end beskyttelsen af naturen omkring Narssaq. Kommunalbestyrelsen i Narssaq har derfor nedsat en minekomite, til at sikre, at man gennem fremsynet planlægning kan skaffe indtægter og beskæftigelse til byen, uden at denne omdannes til et nyt Klondyke.

NARSSAQ - PROJEKTET

Selv om man i mine og fabrik træffer alle mulige sikkerhedsforanstaltninger, vil det næppe kunne undgås, at der tilledes forurenende stoffer til det naturlige miljø. Det er derfor vigtigt, at man på forhånd kender miljøets "naturlige forureningstilstand", således at man kan kontrollere udledningen og fastsætte de grænser, man skal holde sig inden for. Det er med henblik på at fastlægge den "naturlige forurening", det vil sige det naturlige miljø's indhold af de grundstoffer, som findes i fjeldgrunden, at Narssaq-projektet er sat i gang, således som det vil blive beskrevet i en efterfølgende artikel.



I forgrunden den geologiske base Dyrnæs. Kvanefjeld ses over bilerne, bag dette Ilimaussaqfjeld. Det ses, at dalen er bred med god plads til fabriksanlæg og en del af affaldsbunkerne.

Italienske vulkaner

af Sten Lou.

I Italien findes et righoldigt udvalg af både aktive og uddøde vulkaner. Mange har måske travet rundt på disse uden at vide det, bortset fra når turen er gået til Vesuv eller andre aktive vulkaner, som er kendt fra udbrud i nyere tid.

På figur 1 er vist nogle af de vigtigste vulkanske områder i Italien. De kan inddeles i to hovedgrupper, idet de vulkanske bjergarter som forekommer mod nord (1-7) og helt mod syd (17) er rige på silicium (SiO_2), mens bjergarterne ved de øvrige lokaliteter (8-16) er fattige på silicium.



Figur 1. Nogle af de vigtigste vulkanske områder i Italien. 1: s.Vincenzo, 2: Roccastrada, 3: Monte Amiata, 4: Elba, 5: Giglio, 6: Montecriste, 7: Tolfa, 8: Lago di Bolsena, 9: Vico, 10: Sabatini, 11: Albaner bjergene, 12: Roccamonfina, 13: Phlegiske felter, 14: Vesuv, 15: Pontine øer, 16: Ischia, 17: Eoliske øer.

Forskellen i kemisk sammensætning ytrer sig også i forskelle mellem de mineraler, man finder. Bjergarter, som er rige på silicium, og som betegnes mættede, indeholder mineraler, der er rige på SiO_2 , for eksempel sanidin, en feldspat med formlen: KAlSi_3O_8 , som kendes af de fleste, idet en blåviolet, mælket varietet af mineralet benyttes som smykkesten under navnet månesten. I de vulkanske bjergarter, som er fattige på SiO_2 , og som betegnes undermættede, finder man derimod et andet mineral, som ligner sanidin, men som indeholder mindre SiO_2 . Dette mineral er leucit, der har den kemiske formel: KAlSi_2O_6 .

Tilføres SiO_2 i væskeform til en undermættet lava, vil leucitten reagere med SiO_2 , og der dannes sanidin. Normalt vil en lava således aldrig indeholde leucit og kvarts (krystalliseret SiO_2) sammen, da leucit vil reagere med SiO_2 , og danne sanidin.



Figur 2. Det ses hvorledes vulkanen rejser sig stejlt i landskabet ved Tolfa.



Figur 3. Udsigt over Lago di Bolsena set fra den vestlige kraterrand. I det fjerne ses den østlige kraterrand.

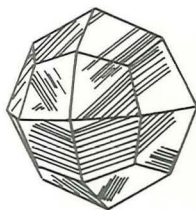


Figur 4. En ny vulkan er bygget op på den gamle calderas gulv.



Figur 5. Vesuv.

Ser man nu på de vulkanske bjergarter i Italien, finder man, at de mættede netop indeholder sanidin og kvarts, hvorimod man i de undermættede finder leucit og sanidin. Leucit er et forholdsvis sjældent mineral, som kun optræder i større mængde i lavaer, der er fattige på silicium (undermættede) og samtidig rige på kalium (K). Sådanne lavaer finder man i Italien, i Eifel i Tyskland, i Uganda og i Congo, i det vestlige Australien samt ved Leucite Hill i Wyoming, USA.



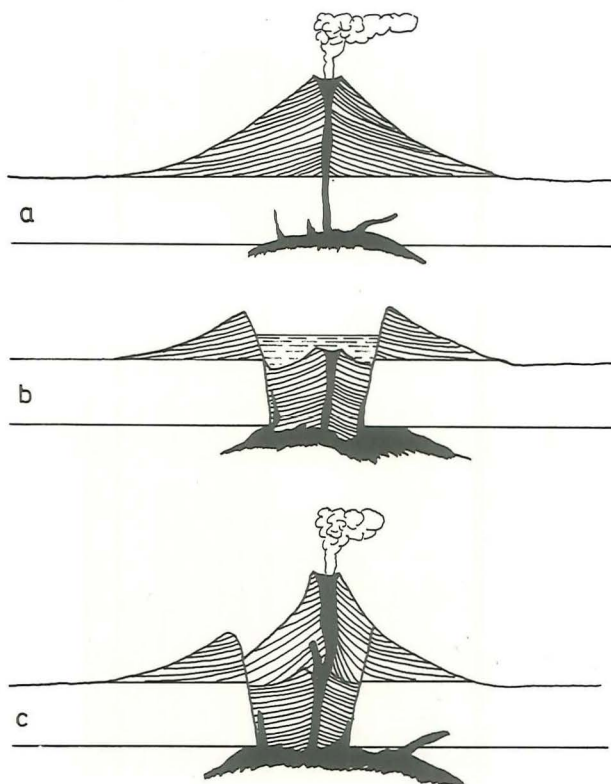
Leucit.

Leucit tilhører det tetragonale krystalsystem (se Varv 1, 1976) når temperaturen er under 625°C , mens det ved temperaturer over 625°C krystalliserer kubisk (se Varv 4, 1975). Den egenskab, at et mineral tilhører forskellige krystalsystemer afhængig af temperaturen, kaldes polymorfi. Sådanne mineraler kan benyttes som geologiske termometre. Leucit er normalt glasklar i de italienske lavaer, hvor den er hyppig som centimeterstore strørkorn. Da leucit kan ridses med en kniv, er den let at skelne fra kvarts. En anden synlig forskel mellem de to mineraler er, at de tilhører hver sit krystalsystem. Kvarts er trigonal og leucit som nævnt tetragonal.

Besøger man forskellige vulkanske områder i Italien, vil man opdage, at der er en tydelig forskel i landskabet afhængig af, om man færdes i områder med mættede eller undermættede lavaer. Ved Tolfa (figur 2) eller ved Monte Amiata, rejser vulkanerne sig stejlt i landskabet og de er begrænset til et relativt lille område. Dette skyldes at lavaerne er rige på SiO_2 , hvilket gør dem sejtflydende, så de ikke når at dække større arealer inden de størkner.

Vulkanområder som Vulsini, Vico og Sabatini (se figur 1), dækker derimod meget store arealer, fordi lavaerne her har været undermættede og ikke nær så sejtflydende som de mættede lavaer. Desuden har de undermættede lavaer antageligt indeholdt større mængder gas end de mættede, hvilket har gjort udbruddene meget eksplosive, så udbrudsprodukterne også af denne grund er spredt over betydeligt større arealer.

I mange uddøde vulkaner er de gamle kratere omdannet til søer, ofte af betydelig størrelse. Lago di Bolsena har således en diameter på cirka 10 km (se figur 3). Kratersøernes store dimensioner er betinget af det materialeunderskud, der er opstået i jordskorpen som følge af den vulkanske virksomhed. Dels er store dele af vulkanen så at sige blæst væk ved udbruddene, og dels har udbruddene været ledsaget af indsynkninger i jordskorpen, såkaldt caldera-dannelse (figur 6 b). Det er i sådanne calderaer, man finder søer, som for eksempel Lago di Bolsena og Lago di Bracciano. I nogle tilfælde er den vulkanske aktivitet fortsat efter indsynk-



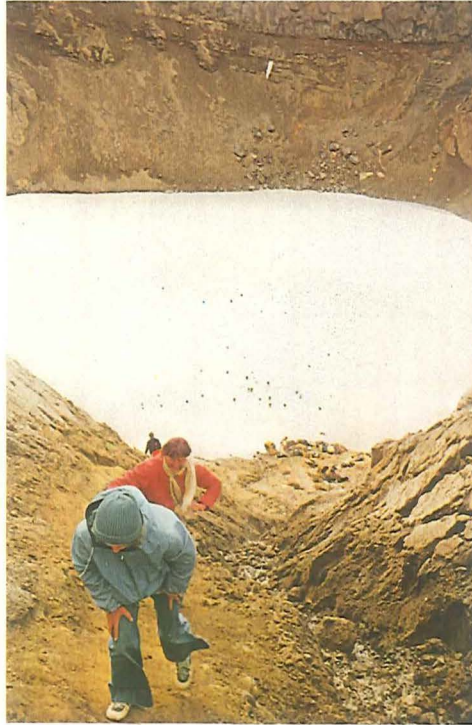
Figur 6. a: en keglevulkan (stratovulkan) er bygget op. b: i denne vulkan har en caldera indsynkning fundet sted og en sø er dannet i calderaen. c: en ny stratovulkan er under opbygning (situationen svarer til Somma-Vesuvus udseende i dag).

ningen, og en ny vulkankegle er dannet inde i calderaen. Dette er for eksempel tilfældet for vulkanen Vico's vedkommende (figur 4).

Hvis udviklingen fortsætter, vil den nye vulkan med tiden nå samme størrelse som før calderaindsynkningen. Vesuv (figur 5) er på vej mod dette stadium og vil muligvis med tiden nå den gamle kraterrand (Somma).

Benytter man sin ferie i Italien til et mindre studie i vulkaner, kan man der få et godt indtryk af en vulkans udvikling, samt hvorledes vulkanernes udseende afhænger af lavaernes kemiske sammensætning.

Skulle dette ikke tilfredsstillende ens behov for vulkaner, bør man holde sig beredt i 1984, da Vesuv har et udbrud cirka hver fyrretyvende år, og det sidste udbrud var i 1944. Ja, man kan jo aldrig vide



Vulkanen Askja i det indre af Island er et spændende rejsemål. Navnet Askja, æske, hentyder til formen af den 45 km^2 store caldera (indsynkning), som er dannet ved vulkanens virksomhed. Calderaens bund ligger cirka 1100 m over havet, og den er af 1200-1300 m høje fjelde afgrænset fra den omgivende højslette i cirka 600 meters højde. Når man har passeret højslettens lavamarker, som over lange strækninger er dækket af aske og pimpsten, og er nået frem til det eneste pas, som fører ind i calderaen, ser man, at der inden for den store caldera ligger en mindre caldera, som nu er optaget af søen, Öskjuvatn. Denne mindre caldera, som er på 11 km^2 , opstod i forbindelse med Askja's eksplosionsagtige udbrud i 1875, ved hvilket krateret Viti blev dannet. I løbet af 12 timer blev der udspyt $2,5 \text{ km}^3$ aske op i atmosfæren, hvoraf godt 33 % faldt ned på Island og dækkede 10.000 km^2 . Resultatet blev, at alt landbrug måtte opgives i de berørte områder. Viti, der ligger nogle få hundrede meter fra Öskjuvatn, har en diameter på cirka 100 m og rummer nu den sø, som ses på fotografiet. Efter en timelang strabadserende travetur over calderaens gulv skal der ikke megen overtalelse til, før man kaster sig i det mælkeagtige, gulgrønne, svovldunstende vand, hvis temperatur på $32-35^\circ \text{ C}$ er betydeligt behageligere end navnet Viti, der er afledt af Helviti, kunne lade formode.

Knud Binzer

Oceanbundsdannelse

"SEAFLOOR SPREADING" TEORIENS HISTORISKE

BAGGRUND OG FREMKOMST.

af Hans Chr. Larsen.

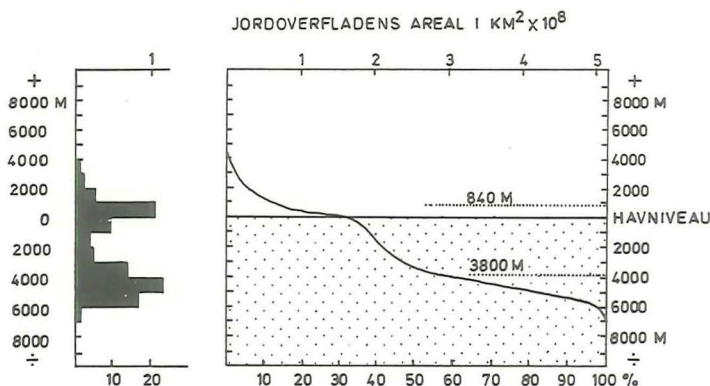
Emnet for denne og for efterfølgende artikler er oceanbundsdannelse. I den første artikel vil vi se på den historiske baggrund for den i dag almindeligt accepterede mekanisme for oceanbundsdannelse: "seafloor-spreading", samt analysere denne teori lidt nærmere. I de to efterfølgende artikler vil dannelsen af det Atlantiske og det Arktiske ocean blive beskrevet.

Der vil i det følgende blive ofret en del spalteplass på begrebet kontinentaldrift, tilsyneladende i modstrid med artiklens emne, men som vi senere skal se, hænger kontinentaldrift og oceanbundsdannelse meget nært sammen.

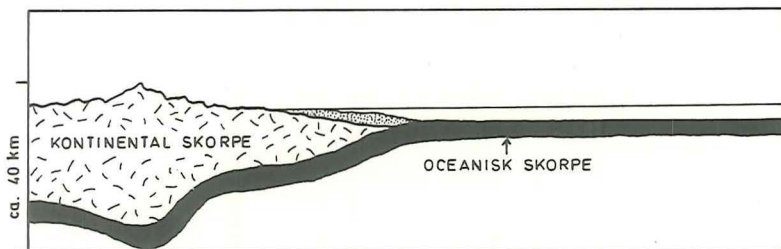
FORDELING AF OCEANER OG KONTINENTER

Jordens overflade kan tredeles i kontinentale områder, shelfområder (lavtvandede områder omkring kontinenterne) og oceaniske områder, det vil sige områder med over 2000 meters vanddybde. Som det senere vil vise sig, er det rimeligt at henregne shelfen til de kontinentale områder, og vi får da en fordeling af jordskorpen i cirka 34 % kontinentale områder og cirka 66 % oceaniske områder.

Figur 1 viser den procentvise fordeling af jordoverfladens højde over havet. Denne kurve, også kaldet den hypsometriske kurve, viser en tydelig to-toppet fordeling. Den hypsometriske kurve blev første gang (1912) opstillet af den tyske meteorolog og geofysiker Alfred Wegener.



Figur 1. Den procentvise arealfordeling af jordoverfladen - til venstre vist som spjlediagram og til højre som en kumulativ, hypsometrisk kurve. Landområdernes middelhøjde er 840 m, og middelhavdybden er 3.800 m.



Figur 2. Wegeners to-delte skorpemodel. Det lette kontinent "flyder" ovenpå det tungere oceaniske lag.

Wegener, der er kendt for sin teori om kontinenternes forskydning, tolkede den hypsometriske kurve som udtryk for en 2-delt jordskorpe. Det øverste lag opbyggede ifølge Wegener kontinenterne og underlejreredes af et lag, der ligeledes udgjorde de oceaniske områder (figur 2).

Wegener postulerede således en forskel i den geologiske opbygning af kontinentale og oceaniske områder og fik her hjælp fra et større antal tyngdemålinger, der stik imod alle forventninger viste et tyngdeoverskud over de oceaniske områder og et relativt tyngdeunderskud over de kontinentale områder. Når man siger uventet, indebærer det, at tyngden burde være lille over oceanerne, da havvandet jo er lettere end de almindelige bjergarter - konklusionen må være, at bjergarterne under oceanbunden er så tunge, at tyngdegenemsnittet for havvand + oceanbund bliver over middel. Omvendt må det på kontinenterne være således, at lette bjergarter når dybere ned, hvorved tyngdegenemsnittet bliver relativt lavt. (Se også Varv 1972 nr. 3).

Wegener regnede følgelig med to forskellige bjergartstyper i jordskorpen - det gør geofysikerne også idag, selv om skorpemodellen er ændret i nogen grad.

Der skulle dog gå præcis 50 år (1962), før mekanismen bag skorpens strukturelle opdeling og hermed sammenhørende kontinentaldrift, blev erkendt. Man lad os først se lidt på teorierne om kontinentaldrift, både før og efter Wegeners epokegørende indsats.

KONTINENTALDRIFT OG OCEANBUNDSDANNELSE

FØR WEGENER

I begyndelsen af det 17. århundrede var det verdensomspændende kortmateriale tilstrækkeligt til at filosofen og videnskabsmanden Francis Bacon i sit værk "Novum Organum" (1620) konstaterer en vis "puslespil-

agtig" lighed mellem Afrika og Sydamerika. Dette forhold diskuteres af blandt andre Placet (1666), Leclerc (1749) og de Buffon (1778), men først teologen Lilienthal (1756) påpeger, at kontinentalopsplitning kan være årsagen hertil. Geografen Humboldt (1845) påpeger de geologiske ligheder omkring det sydlige Atlanterhav og følges af Pellegrini (1858), der fremholder eksistensen af identiske fossiler på de to sydlige kontinenter.

Årsagerne til ovennævnte forhold søgtes i den religiøse verden for eksempel i syndflodsteorien, men omkring midten af det 19. århundrede vinder den naturvidenskabelige metode frem. Oceandannelse foreslås således dannet ved at Månen er revet ud af Jorden eller at Jordens diameter konstant vokser, hvilket bevirker en opsplnitning af kontinenterne, hvis mellemrum opfyldes af oceaner. Denne teori er netop nu (1975 og 1977) genfremsat i et voluminøst værk af den australske geolog Warren B. Carey.

WEGENERS TEORI OG DENS MODTAGELSE

Det er dog Alfred Wegener (1912), der må tilskrives æren for at have formuleret den første videnskabelige teori om kontinentalforskydning og oceanbundsdannelse med inddragelse af vidnesbyrd fra alle naturvidenskabens grene. Wegeners indsats er bemærkelsesværdig af to årsager: et væld af geologiske og geofysiske data fremlægges her for første gang, og Wegener gør op med alle tidligere "katastrofeteorier" (bibelske eller ikke-bibelske) og postulerer, at kontinentaldrift er en langsom proces, der finder sted over millioner af år, og som foregår den dag idag.

Wegener var afgjort forud for sin tid, hvilket blandt andet fremgår af de 50-års "ventetid" i den videnskabelige verden, som teorien blev udsat for, før den i modificeret og justeret form blev almindeligt anerkendt.

"Ventetiden" skyldtes ikke kun Wegeners fremsynethed, men også en række fejl i teorien, der hurtigt blev påvist. I figur 2 er vist Wegeners model af jordskorpeopbygningen. Ifølge Wegener drev kontinenterne som isfjelde gennem oceanbundslaget under indflydelse af blandt andet tidevandskræfter og Jordens centrifugalkraft. Spredningen af Grønland og Norge beregnede Wegener til at foregå med en hastighed af cirka 36 m/år, ud fra forskellige astronomiske stedbemmelser i Grønland. Disse vigtige punkter blev kraftigt angrebet efter udgivelsen af Wegeners hovedværk "Die Entstehung der Kontinente und Ozeane" (1915).

De astronomiske stedsbestemmelser blev med rette draget i tvivl, og geofysikeren Jeffrey's kunne påvise, at de anførte kræfter bag "driften" langt fra var tilstrækkelige. En række fremtrædende geologer, herunder den danske geolog Lauge Koch, afviste, at store kontinenter skulle kunne "sejle" i oceanbundslaget uden at sønderknyttes, og ud fra Wegeners skorpemodel havde de ret, men herom mere senere. Når dette er sagt, skal det dog tilføjes, at Wegener og Du Toit's rekonstruktion af de sydlige konti-

nenter i superkontinentet "Gondwana", således som dette så ud i Kultiden, ikke er ændret væsentligt i dag (se for eksempel Varv 1977 nr. 3 samt Varv 1976 nr. 4).

En anden væsentlig årsag til den kølige modtagelse af Wegeners arbejde kan måske findes i det forhold, at kontinentaldriftteorien fra tidligere tid har været kædet sammen med religiøse og katastrofeagtige forklaringer, samt at Wegener, meteorolog af uddannelse, var autodidakt indenfor de berørte videnskabelige discipliner (geologi og geofysik).

Det må dog ikke glemmes, at nogle få videnskabsmænd tog teorien til sig og kraftigt forsvarede den. Her må nok først og fremmest nævnes geologerne Du Toit og Arthur Holmes, der i 30'erne tilførte teorien nye aspekter, der pegede hen imod dens moderne udformning, som normalt tilskrives amerikaneren Hess (1962). Den tidligere omtalte geolog Warren B. Carey havde dog allerede i 1958 fremsat en lignende teori, der dog ikke fik det eksplosive gennembrud, som 4 år senere blev Hess's teori til dels.

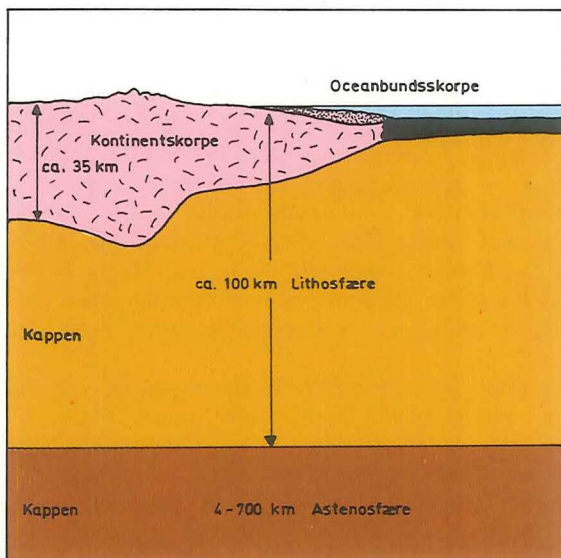
Efter denne historiske redegørelse vil vi nu gå over til at se på teorien for oceanbundsdannelse og kontinentaldrift, som denne blev fremsat i begyndelsen af 60'erne og videreudviklet op til i dag.

SEAFLOOR SPREADING TEORIEN

Som nævnt indledningsvis hænger oceanbundsdannelse og kontinentaldrift sammen, og det er Hess's teori, der sammenknytter disse to fænomener. Hess postulerer nemlig, at ny "skorpe" dannes kontinuerligt langs de verdensomspændende undersøiske bjergrygge, der ligger cirka midt i alle de store oceaner - midtoceaniske rift systemer, se også Varv 1975 nr. 2 og 1972 nr. 3.

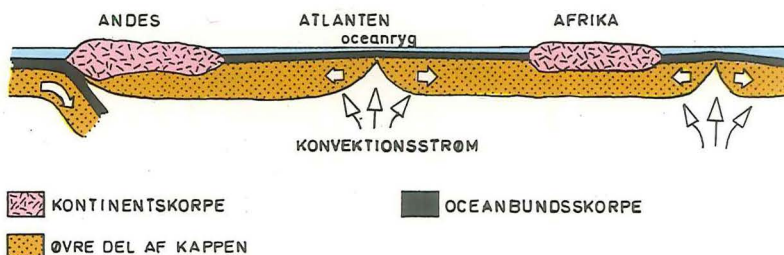
For at forklare seafloor-spreading måtte Hess inddrage det næste lag i jorden, det såkaldte kappelag (figur 3). De øverste dele af kappen samt skorpen udgør et cirka 100 km tykt lag, lithosfæren, underlejret af asthenosfæren. Sidstnævnte er betydeligt mere plastisk end lithosfæren, og Hess postulerede, at jordskorpen udgøres af et antal (cirka 12) "stive" lithosfæreplader (se Varv 1977 nr. 1), der kan bevæge sig indbyrdes på den mere plastiske asthenosfære. Det er denne teori, der kaldes "pladetektonik" (se Varv 1972 nr. 3) - som man kan se, er teorien en videreførelse af Wegeners ide, idet man bare er gået mere i dybden med placeringen af det nødvendige plastiske lag.

Det nye skorpemateriale bringes under indflydelse af dybtgående konvektionsstrømme (se Varv 1972 nr. 4) op til disse oceaniske rift zoner i form af flydende magma, der umiddelbart herefter størkner. Skorpen vokser dog ikke i tykkelse langs disse rygge, idet der stedsse sker en transport af størknet skorpe væk fra ryggen (figur 4), heraf navnet "seafloor-spreading".



Figur 3 viser jordklodens opbygning. Vigtigst er de yderste 800 km, som ses her.

Men hvis jorden tilføres ny skorpe i alle oceanerne, må denne da ikke vokse? Det er som nævnt senest postuleret af Carey, men den almindeligt accepterede teori, som fremsat af Hess, forudsætter en destruktion af skorpe et sted i samme tempo som denne nydannes et andet sted.

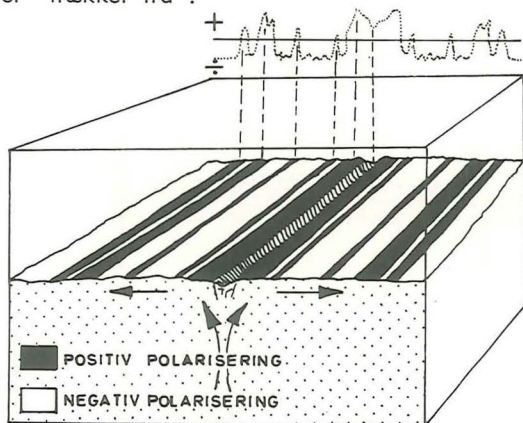


Figur 4 viser et lithosfæretværsnit. En opadgående konvektionsstrøm under den midtatlantiske ryg bringer smeltet magma op til overfladen hvor ny oceanbund dannes for derefter at transporteres væk. I dybgraven udfor Andeskæden "konsumeres" havbund i samme tempo som denne nydannes andetsteds.

Samtidig med at havbunden spredes væk fra de midtoceaniske rygge forsvinder denne nemlig igen ved de såkaldte dybgrave (Filipinergravene, japanske dybgrave, indonesiske dybgrave og så videre) som vist i figur 4. Seafloor-spreading og kontinentaldrift hænger således nært sammen og udtrykket "pladetektonik" bruges ofte som fællesnævner for disse fænomener, omend dette egentlig ikke er helt korrekt. Pladetektoniken har mange aspekter, hvoraf nogle er behandlet i Varv 1972 nr. 3. Her vil vi hovedsagelig beskæftige os med fænomenet seafloor-spreading.

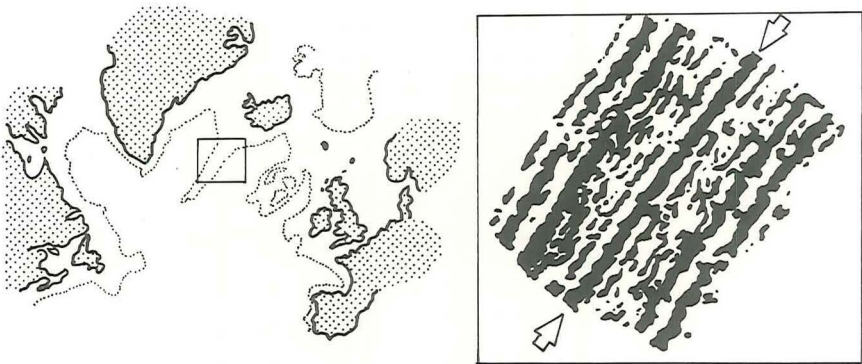
Da Hess fremkom med sine banebrydende teorier var disse at opfatte som hypoteser, men i årene efter 1962 fulgte en lang række opdagelser, der efterhånden forvandlede hypotesen til en almindeligt accepteret teori, omend der endnu eksisterer visse overbeviste modstandere. De mest betydningsfulde opdagelser til støtte for seafloor-spreading skal kort opsummeres i det følgende.

I 1963 fremsatte Vine & Matthews den hypotese, at havbundsspredning omkring de midtoceaniske rygge skulle kunne aflæses i magnetfeltet over havbunden. For at forstå dette må vi lige nævne, at positionen af Jordens magnetiske poler er forholdsvis stabil over mange millioner af år (for eksempel hele Tertiærtiden, cirka 60 millioner år), men magnetfeltet skifter forholdsvis hyppigt polarisering - det vil sige at magnetisk nord og syd byttes om - i gennemsnit en gang per 700.000 år. Den nuværende polarisering af magnetfeltet kaldes positiv, den modsatte negativ. Skorpen dannet langs de midtoceaniske rygge bliver derfor skiftevis "positivt" og "negativt" magnetiseret. Man registrerer variationer i feltstyrken - i et negativt bælte, hvor magnetisk nord og syd har byttet plads, vil polariseringen give en svækkelse ved måling af det nutidige felt - kort sagt, de negative bælte "trækker fra".



Figur 5. Schematisk snit gennem oceanbund dannet ved seafloor spreading udenom en midtoceanisk ryg. Den magnetiske feltkurve (øverst) varierer symmetrisk og i takt med den skiftende polarisering af oceanbunden.

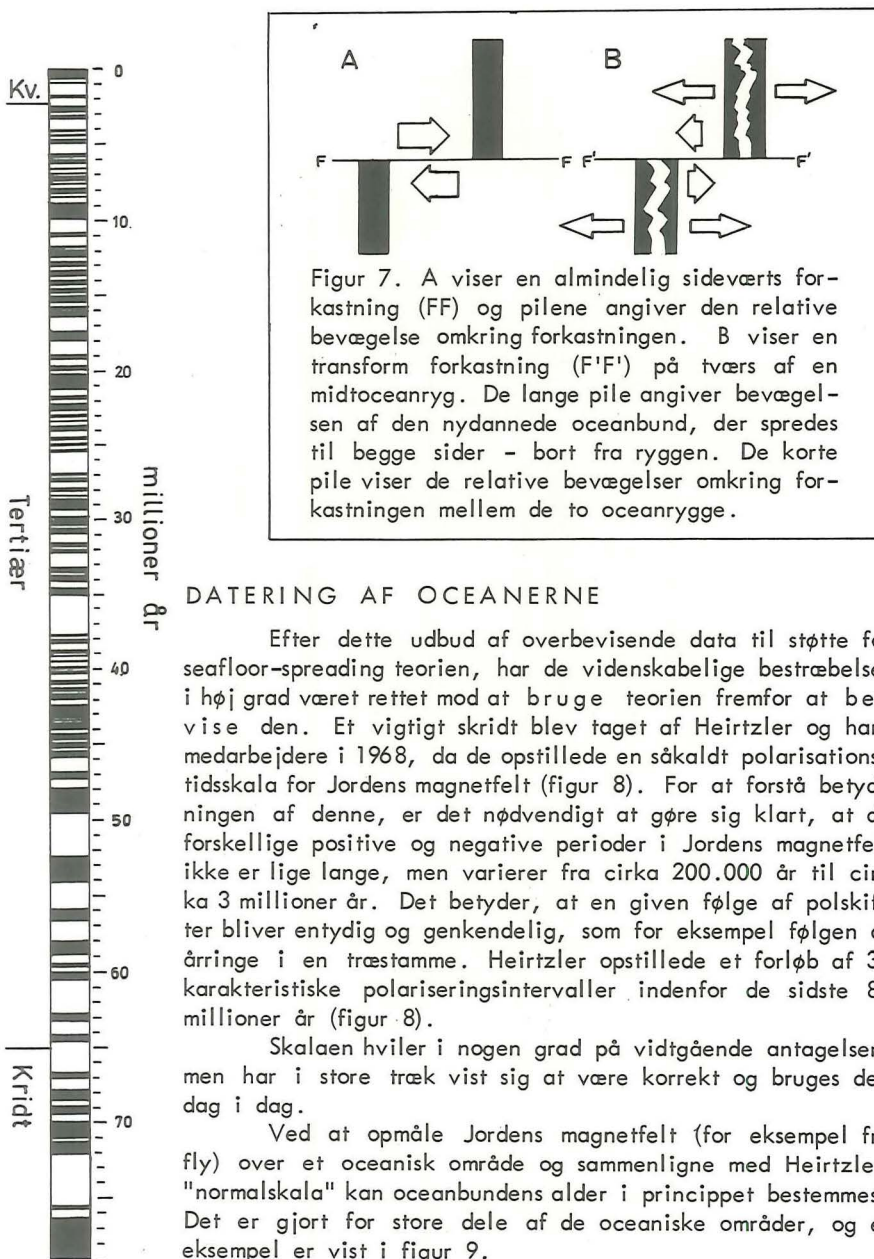
Ifølge Vine & Matthews skulle oceanbunden således virke som en slags "båndoptager" for Jordens skiftende magnetfelter og give anledning til henholdsvis positive og negative lineære magnetiske afvigelser fra normalfeltet grupperet parallelt og symmetrisk omkring de midtoceaniske rygge (figur 5). Vine & Matthews kunne meget kort tid efter vise dette i praksis med data fra Stillehavet og senere fulgte meget overbevisende data fra Reykjanesryggen syd for Island (figur 6).



Figur 6. Magnetisk kort over Reykjanes-ryggen, som er en del af den midt-atlantiske ryg. Sort og hvidt i figuren tilhøjre viser henholdsvis positiv og negativ afvigelse. Pilene viser positionen af den centrale brudzone, ud fra hvilken spredningen foregår.

Studiet af de midtoceaniske rygge havde vist, at disse til tider blev forsat op til flere hundrede kilometer lange såkaldte forkastninger. Den amerikanske geolog J. Tuzo Wilson postulerede i en nu klassisk afhandling (1965), at som følge af oceanbundsdannelse langs de midtoceaniske rygge måtte bevægelsen langs disse forkastninger være den modsatte af den man træffer i "normale" forkastninger på kontinentet (figur 7) og bevægelsen iøvrigt være begrænset til mellemrummet mellem ryggene. Wilson kaldte disse for transforme forkastninger. Kort tid efter kunne seismologen Sykes udfra studiet af jordskælv påvise, at Wilson's forudsigelser var korrekte.

På dette tidspunkt var vejen banet for en almindelig godkendelse af seafloor-spredningsteorien. Boringer og sedimentprøver har senere vist, at oceanbundsskorpen virkelig bliver ældre jo større afstand denne har fra spredningsryggene. Udstrakte magnetiske målinger over oceanerne har bekræftet Vine & Matthews hypotese yderligere, og studiet af varmeudstrømningen fra Jorden har vist sig at være stor langs de aktive spredningsrygge, ligesom de oceaniske jordskælvszoner er knyttet til disse.



Figur 7. A viser en almindelig sideværts forkastning (FF) og pilene angiver den relative bevægelse omkring forkastningen. B viser en transform forkastning (F'F') på tværs af en midtoceanryg. De lange pile angiver bevægelsen af den nydannede oceanbund, der spredes til begge sider - bort fra ryggen. De korte pile viser de relative bevægelser omkring forkastningen mellem de to oceanrygge.

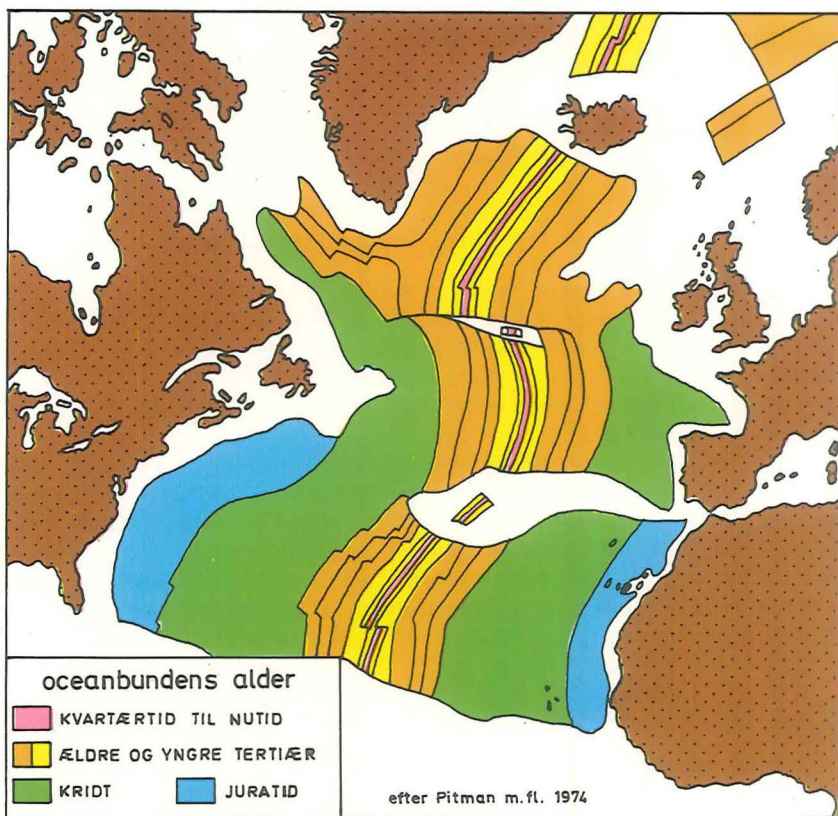
DATERING AF OCEANERNE

Efter dette udbud af overbevisende data til støtte for seafloor-spreading teorien, har de videnskabelige bestræbelser i høj grad været rettet mod at bruge teorien fremfor at bevise den. Et vigtigt skridt blev taget af Heirtzler og hans medarbejdere i 1968, da de opstillede en såkaldt polarisations-tidsskala for Jordens magnetfelt (figur 8). For at forstå betydningen af denne, er det nødvendigt at gøre sig klart, at de forskellige positive og negative perioder i Jordens magnetfelt ikke er lige lange, men varierer fra cirka 200.000 år til cirka 3 millioner år. Det betyder, at en given følge af polskifter bliver entydig og genkendelig, som for eksempel følgen af årringe i en træstamme. Heirtzler opstillede et forløb af 32 karakteristiske polariseringsintervaller indenfor de sidste 80 millioner år (figur 8).

Skalaen hviler i nogen grad på vidtgående antagelser, men har i store træk vist sig at være korrekt og bruges den dag i dag.

Ved at opmåle Jordens magnetfelt (for eksempel fra fly) over et oceanisk område og sammenligne med Heirtzlers "normalskala" kan oceanbundens alder i princippet bestemmes. Det er gjort for store dele af de oceaniske områder, og et eksempel er vist i figur 9.

Figur 8. Heirtzlers palæomagnetiske tidsskala. Sorte og hvide felter viser henholdsvis positiv og negativ magnetfretsretning.



Figur 9.

Det er senere forsøgt at forlænge tidsskalaen tilbage til cirka 120 millioner år, men identificeringen af anomalierne bliver her vanskelig, og i endnu ældre perioder næsten umulig.

DE "UNGE OCEANER"

Det er bemærkelsesværdigt, at Heirtzlers skala, kun dækkende de sidste 80 millioner år af jordklodens cirka 4.500 millioner år lange historie, er tilstrækkelig til datering af store dele af Jordens oceaniske områder. Over halvdelen af Jordens oceanbund må således være yngre end 80 millioner år, og kun mindre områder er ældre end 120 millioner år. De "gamle" oceanområder består hovedsagelig af de oceaniske randområder lige op mod kontinenterne, men også de mindre oceaner som for eksempel dele af det arktiske ocean, det Caribiske Hav og Sortehavet hører til

denne gruppe. Til sammenligning kan nævnes, at de ældste kontinentale bjergarter er dateret til 3.800 millioner år (indre Godthåbsfjord, Grønland), og at cirka 3000 millioner år gamle bjergarter forekommer på alle kontinenterne.

Den slående kontrast mellem kontinenternes og oceanernes alder er et næsten uafviseligt bevis for teorien om oceanbundsdestruktion ved dybgravene (figur 4).

PLADEBEVÆGELSER "PÅ MATEMATISK FORM"

Eftersom opmålingen af de oceaniske områder er skredet frem, har det kunnet lade sig gøre at bestemme de fortidige positioner af de enkelte "plader" indenfor de sidste 80 millioner år. Ud fra disse positioner kan bevægelsen af pladerne i samme tidsrum beregnes. Da bevægelsen foregår på en kugleflade (Jorden), kan denne beskrives matematisk, som en rotation omkring en bestemt pol.

Ved hjælp af computere, kan pladekollisionernes karakter og placering i tid og rum udregnes, og resultaterne viser god overensstemmelse med placeringen af jordskælvsaktive zoner, dybgrave og foldekæder. Beregninger har endvidere vist, at Wegeners spredningshastigheder var op til cirka 1000 gange for store. Det skal her indskydes, at såkaldte palæomagnetiske data også anvendes ved bestemmelse af pladernes bevægelser, men da disse data stammer fra kontinenterne, vil de ikke blive behandlet i denne artikel (se Varv 1969 nr. 3).

VOR "FASTE" JORD OG DE ANDRE PLANETER

Vor såkaldte "faste og uforanderlige" jord er, som læseren har erfaret, tværtimod ganske levende og foranderlig. Således bliver cirka 60 % af jordskorpen skiftet ud i løbet af geologisk set ret korte perioder (120 millioner år).

Det er naturligt at spørge: er andre planeter lige så levende som Jorden?

Det ved man endnu ikke, men givet er det, at det før omtalte forholdsvist plastiske lag i jorden, asthenosfæren, spiller en afgørende rolle i seafloor-spreading processen. Eksistensen af dette lag er betinget af blandt andet planetens størrelse, indholdet af radioaktive stoffer og overfladetemperaturen. Heraf kan vi slutte, at vor egen Måne givetvis er for lille til at seafloor-spreading forekommer, hvilket er i overensstemmelse med de høje aldre for hjembragt månemateriale (cirka 3000-4000 millioner år). Mars synes heller ikke at rumme muligheder for sådanne processer, medens Venus skulle have gode muligheder, hovedsagelig på grund af dens høje overfladetemperatur.

Når læseren griber næste nummer af Varv for at læse om dannelsen af det atlantiske ocean, er dette ifølge seafloor-spreading teorien blevet cirka 0.5 cm bredere.

TIRSDAG DEN 7. MARTS. MERETE BJERRESKOV:
GRAPTOLITER, EN UDDØD DYREGRUPPE.

Den uddøde dyregruppe, graptoliter, er, geologisk set, betydningsfulde fossiler. Graptoliter var en- eller flergrenede kolonidyr med en mangfoldighed af forskellige former. Hver kolonigræn er almindeligvis omkring 1-2 mm bred og 5-10 cm lang - de største former kunne dog blive op mod 1 m lange, og sådanne kolonier rummede op mod tusinde individer. Man ved ikke med sikkerhed, hvilken dyregruppe graptoliterne kan henføres til.

Graptoliterne var meget almindelige for omkring 400-500 millioner år siden, i perioderne Ordovicium og Silur. De findes i alle typer havaflejringer, men oftest i sorte skifre. Man tror, at de fleste graptoliter har været fritlevende i havet - dels fordi mange former har udviklet flydeapparater, og dels fordi de samme arter findes i aflejringer over hele Jorden. De enkelte former havde en kun meget kort geologisk levetid, og bliver dermed meget velegnede som ledéfossiler til placering af forskellige aflejringer i deres rette tidsmæssige sammenhæng. Således er perioderne Ordovicium og Silur opdelt i godt 70 graptolitzoner, hver med deres karakteristiske arter, og det har skabt grundlaget for en meget detaljeret sammenligning af de jævnaldrende aflejringer over store dele af Jorden. Nyere undersøgelser antyder, at det i fremtiden kan blive muligt at anvende graptoliter til at bestemme fortidige havdybder, hvilket i kombination med deres betydning for datering kan give liv til yderligere forståelse af fortidens miljøer.

TIRSDAG DEN 21. MARTS. NIELS OLUF JØRGENSEN:
NATURLIG HÆRDNING AF HAVBUNDEN I KATTEGAT.

Lokale forekomster af geologisk unge, hærtnede sedimentter har i længere tid været kendt fra Kattegats bund og de omkringliggende kyststrækninger. Hærdningen skyldes en kemisk udfældning af calciumkarbonat i form af små krystaller, 0.01-0.02 mm i diameter, som binder sandskornene sammen i en "cement"-lignende bjergart. Bjergarten findes almindeligt som opskyllede strandsten på kyststrækningen Søby-Frederikshavn-Ålbæk, og kan tilmed enkelte steder ses som en faststående dannelse på stranden i ovennævnte område samt på nordkysten af Læsø. Ved udgravningen til flådehavnen i Frederikshavn (1950-1951) stødte man på udbredte og sammenhængende forekomster af hærtnede sedimentter, som på grund af deres hårdhed voldte vanskeligheder og forsinkelser for havnebyggeriet.

Udfældningen af calciumkarbonat i havvand finder normalt sted under indampning og deraf følgende overmætning med opløst kalk og forekommer derfor oftest under varmere himmelstrøg end de danske. Vi må derfor tro, at ganske usædvanlige kemiske og fysiske forhold må have været tilstede i porerummene i de kalkhærtnede sedimentter, som der her er tale om.

For at belyse forholdene har det været nødvendigt at tage avancerede analysemetoder i anvendelse. Således er der brugt scanning elektron mikroskopi, røntgendiffraktometri og atomabsorptionsspektrofotometri ved undersøgelsen af kalkkrystallernes ydre form, indre struktur samt deres kemi og indhold af sporelementer. Alderen af cementeringsprocessen er bestemt radiometrisk ved hjælp af C-14 metoden. Endelig er oprindelsen til det kulstof, som indgår i kalkcements karbonat, søgt sporet ved hjælp af kulstof-isotopanalyser.

Disse detaljerede undersøgelser af kalkcements fysiske og kemiske egenskaber har gjort det muligt at rekonstruere det miljø og de faktorer, som har ført til udfældning af kalk og dermed en hærtning af de ellers løst sandede marine sedimentter.



Narssaq elvdal set fra Narssaq's udkant. Til venstre Dyrnæs bugten, ved hvilket husene i den geologiske base Dyrnæs er beliggende. Midt i billedet Kvanefjeld delvis dækket af skyer. Narssaq elv løber midt i dalen (foto H. Sørensen).

Tegningen viser, hvorledes en eventuel uranmine og tilhørende oparbejdningsanlæg eventuelt vil kunne placeres ved Kvanefjeld. (Skitsen er ikke tegnet i rigtig målforhold).



A = dagbrud, B = knuseværk, C = transportsåkt for nedknust materiale, D = "vinterlager", E = "nærlager", F = fabrikk, G = laboratorier, kontorer, m.m., H = Narssaq elv, I = fast affald, \rightarrow = transport af malm.