



HUL I OCEANET

Det er efterhånden en næsten dagligdags begivenhed, at der sendes rumfartøjer ud gennem Jordens atmosfære, og man indsamler til stadighed oplysninger om forholdene øverst i atmosfæren og i rummet uden for denne. Der tales endog om at indsamle prøver af materialet på Månens overflade.

Rumfartøjerne udsendes fra affyringsramper, som er placeret på overfladen af en jordklode, om hvis indre opbygning man kun har en brøkdæl af den viden, der nu er opsamlet om rummet rundt om Jorden.

Beregninger af jordklodens gennemsnitsvægtfylde og tyngdemålinger på jordoverfladen viser, at Jordens indre må være meget tungt. Dette bekræftes af undersøgelser af jordskælvsbølgernes forplantningshastigheder i forskellige dybder under jordoverfladen. Den springvise ændring af jordskælvsbølgernes hastigheder i bestemte dybder under overfladen viser desuden, at jordkloden er opbygget af en indre kerne, der er omgivet af en tyk kappe og en tynd ydre skorpe.

Jordskælvsbølgernes forplantningshastigheder er bestemt af vægtfylderne og de elastiske egenskaber af jordklodens materialer. Undersøgelsen af jordskælvsbølgerne siger derfor i første række kun noget om de fysiske egenskaber af disse materialer. Det er så overladt os at gætte, hvilke materialer, der har disse egenskaber ved de tryk- og temperaturforhold, som man må regne med i de forskellige dybder. Her kommer meteoriterne til hjælp. Det er naturligt at antage, at de må stamme fra en søndersprængt planet, og det er da en nærliggende tanke, at lignende materialer kan opbygge Jordens indre. Beregninger har vist,



at en jordklode med en kerne bestående af en jernmeteoritlignende substans, en kappe af stenmeteoritlignende substans og en skorpe af silikatbjergarter vil give den beregnede vægtfyldefordeling og give jordskælvsbølgerne de observerede hastigheder.

Vor viden om jordklodens indre opbygning er således baseret på indirekte vidnesbyrd; det ville være af uvurderlig betydning for vor forståelse af jordklodens opbygning, af processerne i dens indre, samt af dens udvikling, såfremt det var muligt at kontrollere den nu foretrukne "jordmodel" med enkelte direkte observationer, f.ex. af materialet øverst i kappen, idet denne skal af Jorden udgøre hele 84 % af jordklodens rumfang. Det amerikanske Mohole projekt, som er emnet for denne artikel, er netop et forsøg på at fremskaffe materiale fra den øverste del af kappen.

Grænsen mellem jordskorpen og kappen blev først påvist i 1909 af den kroatiske fysiker A. Mohorovicic, og den har efter ham fået navnet Mohorovicic's diskontinuitet eller Moho. Mohole er da en amerikanisering af hullet gennem Moho. Moho blev påvist gennem jordskælvsundersøgelser, idet den markeres af en springvis ændring af bølgehastigheden. Moho ligger i en dybde af 20-70 km under kontinenternes overflade, men kun 5-10 km under oceanernes bund. De dybeste olieboringer er i øjeblikket på små 8 km; en boring på kontinenterne vil derfor i øjeblikket indebære uoverstigelige tekniske vanskeligheder, ikke mindst på grund af de høje temperaturer som må forventes nede i jordskorpen. Et Mohole vil da lettest kunne udføres på en oceanø, eller ved direkte boring gennem oceanbunden på et sted hvor denne er ganske særlig tynd. Dette sidste nødvendiggør boringer på steder med vanddybder på mindst 4 km.

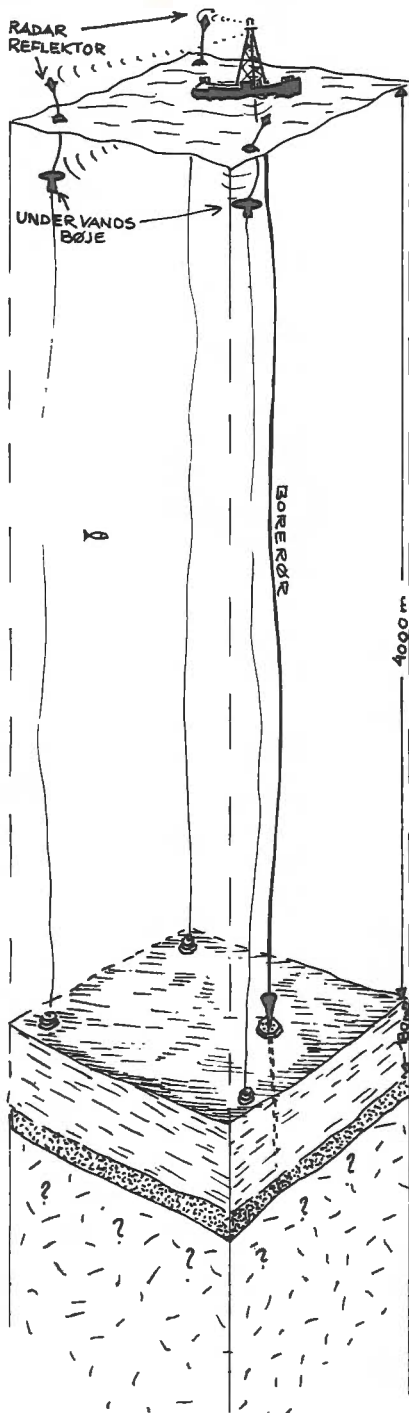


Tanken om et borehul gennem Moho har været fremkasted fra tid til anden, men først da en gruppe geovidenskabsmænd i U.S.A. begyndte at arbejde med tanken i 1957 kom der gang i foretagendet. Projektet blev først diskuteret i en privat "klub" af videnskabsmænd "The American Miscellaneous Society" (AMSOC) men allerede i slutningen af 1957 fik denne sammenlutning officiel anerkendelse, idet U.S.A.s videnskabsakademi (National Academy of Sciences) gik ind for planen og anerkendte AMSOC som den ekspertkomité, hvorunder udarbejdelsen af de nærmere planer blev henlagt.

I 1960 fremlagde eksperterne forslag til den tekniske løsning af et Mohole udført på dybt vand. Det anbefaledes at udføre boringen fra boreskibet CUSS I, der ene af alle eksisterende boreskibe syntes velegnet til formålet. Olieelskaberne havde på det tidspunkt temmelig stor erfaring i olieboring til søs, omend kun på vanddybder af få hundrede meter, hvor borerne kunne udføres fra fast forankrede fartøjer. Ved borerne på 4000 m vand kan fartøjets position over borestedet ikke fastholdes ved hjælp af ankre og en af komiteens første opgaver var derfor at opfinde en metode til fastholdelse af boreskibets position.

Borefartøjet forsynes med fire udenbords påhængsmotorer som muliggør nøjagtig manøvrering i alle retninger. Skibet anbringes under boringen i en ring af aluminiumbøjer, som ved hjælp af ankre fortøjes på en sådan måde, at de flyder ca. 50 m under vandoverfladen. På grund af opdriften på bøjerne vil ankerlinen stå så stramt, at bøjerne kun vil kunne bevæge sig 13 m væk fra det punkt der ligger lodret over ankeret 4000 m nede. Bøjerne og fartøjet udstyres med elektronisk udstyr til ekkolodning; flydere på vandoverfladen, der er fastgjort til bøjerne forsynes med radarreflektorer. Ved hjælp af dette udstyr kan skibets position nøje fastslås i hvert givet øjeblik og en eventuel afdrift øjeblikkelig ophæves ved brug af påhængsmotorerne.

Manøvreringen af borefartøjet var ikke det eneste problem der måtte løses før prøveboringerne kunne påbegyndes. Fartøjets sødygtighed måtte beregnes og efterprøves for at få fastslået, hvor hårdt vejr der skulle til for at umuliggøre boring.



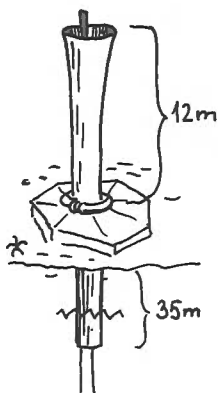
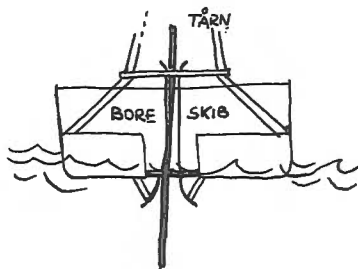
Andre af komiteens medlemmer arbejdede med at finde frem til det rigtige boregrej samt efterprøvning af dette. Der er jo stor forskel mellem at bore et hul i faste bjergarter og at have et borerør ophængt i 4000 m vand uden sidestøtte. Under oceanboringen vil borerøret blive bøjet på grund af fartøjets bevægelser, og der vil også kunne foregå bøjninger m.m. på det sted, hvor borerøret stikker op af oceanbunden. Roteringsen af borerøret vil frembringe vibrationer; mange og lange beregninger måtte gennemføres for at finde frem til en rotationshastighed, der sikrede, at vibrationerne ikke blev så voldsomme eller resonansfænomener så udtalte, at det kunne få katastrofale følger. Virkningerne af strømninger i vandet måtte også tages i betragtning.

Borerøret føres på CUSS 1 ud gennem en åbning i fartøjets bund. For at tillade borearbejde i søgang må denne åbning være kegleformet med keglens top rettet opad. På oceanbunden vil vridning af borerøret også kunne foregå, hvor det stikker op af lagene. For at tillade en vis bevæ-

gelse på dette sted må røret også her føres gennem et kegleformet rør, med toppunktet nedad, som anbringes i en plade, der sænkes ned på havbunden omkring borerøret.

I begyndelsen af 1961 var forundersøgelserne afsluttet. Det blev overdraget ejerne af CUSS I, "Global Marine Exploration Co.", at foretage prøveboringerne. CUSS I blev ombygget til formålet i San Diego på U.S.A.s vestkyst og i begyndelsen af marts var alt parat til den første boring på dybt vand.

Mens de tekniske forberedelser stod på havde en gruppe videnskabsmænd arbejdet på at finde et velegnet sted for prøveboringen. Dette sted måtte ikke ligge ret langt væk fra CUSS I's hjemby Los Angeles, idet fartøjet skulle bugseres til borerstedet. Af stedet for prøveboringen måtte yderligere kræves, at vanddybden var så stor, at hele boreprocessen kunne efterprøves, at det lå uden for skibsruiter og raketforsøgsområder, at vejrforholdene var så stabile, at man på forhånd kunne regne med passende vind, bølge og strømforhold under boringerne, samt at bundforholdene var af en sådan art, at de indvundne erfaringer kunne komme til direkte nytte ved den endelige Mohoboring. Et område, der tilfredsstillende alle disse krav, blev fundet ca. 60 km øst for Guadalupe øen ud for Mexicos kyst. Undersøgelser foretaget med "kun-



stige jordskælv" fra havundersøgelsesskibe havde vist, at sedimentlaget her var 200 m tykt og at det underlejligheden af et materiale med de fysiske egenskaber, som man kender hos basalt. Havdybden er små 4000 m.

Inden CUSS I blev slæbt til borestedet ved Guadalupe foretog man 5 prøveboringer på ca. 1000 m vanddybde ca. 30 km ud for San Diego. Her blev manøvreringen af CUSS I og boremetoderne gennemprøvet. Man nåede en dybde af 345 m under oceanbunden og optog dermed prøver af dybereliggende sedimenter, end det nogensinde tidligere havde været tilfældet. Sedimenterne bestod af sand, finsand og dolomit af kvartær og måske pliocæn alder.

Den 27. marts ankom CUSS I til borestedet ved Guadalupe og den næste dag ved middagstid var borerøret samlet og borekronen nedsænket til oceanbunden, hvor den første boring på 4000 m vanddybde blev indledt. Vinden var under dette så kraftig som 45 km/time og bølgerne mere end 4 m høje, og alligevel var det muligt at udføre boringen. Det viste sig, at borerøret, der nu var et godt stykke nede i oceanbunden, stabiliserede skibet. Det første hul nåede kun 79 m ned, og de optagne prøver viste grønt slam med forsteninger af miocæn alder. Det næste hul gennemboede sedimentlaget i en dybde af 185 m og trængte 14 m ned i blæret basalt. Om dette basaltlag så er skorpens øverste grænse eller en lavastrøm i sedimenterne er endnu ikke opklaret.

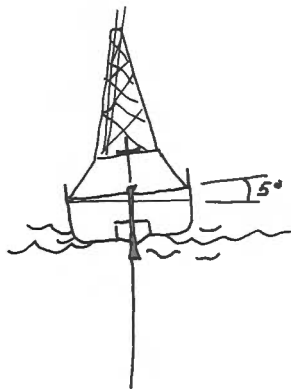
I alt 5 huller blev boret ved Guadalupe til en maximal dybde af ca. 200 m. I det fjerde af hullerne nedsænkedes forskellige måleinstrumenter, hvormed der blev foretaget elektriske, magnetiske og radiometriske målinger. Varmeudstrømningen gennem sedimenterne i hullet blev også målt og fandtes at være lidt større end ventet på forhånd. Geofoner, d.v.s. små seismografer, blev også nedsænket i hullet og registrerede ankomsten af bølger fra undersøiske sprængninger, som blev udløst af et havundersøgelsesskib i nærheden af CUSS I. Bølgernes forplantningshastighed viste sig at være 1,6 km/sek mod den tidligere antagne værdi af 2,1 km/sek. Dette medfører, at den ad seismisk vej foretagne bestemmelse af tykkelsen af sedimentlaget på havbunden er mindre end tidligere antaget.

Bunds sedimenterne ved Guadalupe, opbygges overvejende af kalk- og kiselskallede mikroskopiske dyr og planter, samt af lidt "ler" og vulkansk aske. Den miocæne alder antyder en sedimentationshastighed på ca. 2 cm/1000 år.

Den 12. april afsluttedes borerne, og CUSS 1 bugseredes tilbage til San Diego for atter at blive klargjort til olieboringer. Prøveboringerne havde da kostet ca. 1,5 millioner dollars.

Hvad er så resultaterne af disse prøveboringer? For det første blev det bevist, at borerne kunne udføres på store havdybder, så længe man ikke behøver at afbryde boringen, f.ex. på grund af hårdt vejr. (Metoder til at genfinde forladte huller og fortsætte borerne er udarbejdet, men ikke efterprøvet). For det andet vist det, at manøvreringssystemet var tilstrækkeligt til at fastholde borefartøjet inden for en radius af ca. 120 m over borehullet på oceanbunden, hvilket tillod boring i mere end 4 m høje bølger og rulning på 4° og lejlighedsvis op til 12° . Det vist også, at det var muligt at optage prøver fra disse store dybder, samt at udføre geofysiske målinger i borehullerne. Endelig må det forventes, at de erhvervede praktiske erfaringer kan blive af stor betydning for olieindustrien.

Der er nu foretaget en delvis omorganisering af de grupper af videnskabsmænd og teknikere, som forestår Mohole projektet og det praktiske arbejde er overdraget til det private firma, der blandt 12 interesserede firmaer gav det bedste tilbud. Den næste fase i arbejdet er planlægningen af en ny serie prøveboringer, i løbet af hvilke man skal finde frem til det borefartøj og det boregrej, som kan benyttes ved den afsluttende store boring ned gennem Moho.



Der synes altså endnu at være lang vej til det rigtige Mohole, og når man er kommet så vidt, vil udgifterne til projektet sandsynligvis være kommet op på et beløb, der svarer til det, det koster at sætte en satellit i omløb. Man kunne til slut spørge, om borerens forventede resultater vil retfærdiggøre så store omkostninger?

Det første svar på dette spørgsmål er naturligvis, at det kan være lige så rimeligt at lære Jordens indre at kende som at udforske det rum, der omgiver

den. Når det har vist sig lettere at skaffe midler til det sidste formål end til det første, skyldes det de direkte militære interesser i rumforskningen, og til en vis grad også kappestrid mellem de to store satellit-opsættende lande. Mohole projektet er dog ikke uden militær interesse, hvilket blandt andet fremgår af, at U.S. Army og Navy har ydet støtte til løsningen af visse af de tekniske problemer knyttet til projektet, først og fremmest manøvreringssystemet og håndteringen af tungt grej på oceanbunden. Det må dog sikkert konkluderes, at Mohole projektet overvejende er af videnskabelig og teknisk betydning, og det må fra geo-videnskabernes side ønskes, at det må lykkes at skaffe midler til projektets lykkelige gennemførelse. Da også Sovjetunionen har startet et Sovmohole projekt, kan man jo håbe, at der også på dette felt må komme en sund national kappestrid, som kan bringe projekterne over eventuelle døde punkter.



Men lad os kort betragte den videnskabelige betydning af et Mohole. Man ved ikke i øjeblikket, om det overhovedet vil være muligt at erkende Moho, når boret trænger gennem det niveau, hvor diskontinuiteten ifølge jordskælvsundersøgelserne bør ligge; den behøver jo ikke at markeres af en knivskarp grænselinie, men kan meget vel repræsenteres af en gradvis overgang fra skorpe til kappe. Men ligemeget om grænsen er skarp eller ej, vil de oplysninger man får om materialet i niveauet under Moho, være af uvurderlig betydning for vor forståelse af jordklodens opbygning. Man vil blive i stand til at finjustere jordskælvsundersøgelserne, idet man jo her får oplyst den direkte sammenhæng mellem materiale og bølgehastighed. Aldersbestemmelse på materialet ved hjælp af radioaktive grundstoffers nedbrydning kan give vigtige oplysninger om jordklodens dannelseshistorie. Målinger af temperaturen over og under Moho vil fortælle om jordklodens varmeregnskab og dermed om arten af de processer, der kan tænkes at forløbe i Jordens indre.

Det er en udbredt opfattelse, at oceanerne er lige så gamle som Jorden selv (blot er deres vandmængde forøget gennem tiderne); sedimenterne på bunden af de centrale dele af oceanerne kan derfor antages at være meget gamle. En borekerne gennem hele sedimentlaget vil derfor repræsentere et tværsnit af Jordens historie og kan måske give oplysninger om livets udvikling. Palæomagnetiske undersøgelser af sedimenterne kan yderligere fortælle os om de magnetiske polers vandringer gennem tiderne.

Man må gøre sig klart, at man, når Moho er gennemboret første gang, måske kun er blevet lidt kloge-re, end før boringen blev sat ned, for det kan jo vise sig, at mange huller skal til for at give et sikkert billede af forholdene. Imidlertid, får man ikke det første hul, er der jo ingen mulighed for at få de næste. Og de næste huller skal nok komme, idet som nævnt tidligere, Sovjetunionen er gået i kappestrid med U.S.A. om at komme først gennem Moho. Et stort boreprogram med adskillige 14-15 km dybe boringer forskellige steder i Sovjetunionen er planlagt, og programmet tænkes afsluttet med en Moho-boring på Shikotan-øen i Kurilerne, hvor jordskorpen kun er 10 km tyk. Fordelen ved at bore på land vil her delvis blive ophævet af de høje temperaturer, man må forvente nederst i hullet, idet Kurilerne er et område med jordskorpebevægelser og vulkanisme. Den høje temperatur kan meget vel give anledning til tekniske vanskeligheder, der kan sammenlignes med vanskelighederne ved at bore på 4-5 km vand.

Foruden den videnskabelige betydning af et Mohohole må det nævnes, at et projekt af denne art vil give en mængde vigtige erfaringer til de industrier, der arbejder med at udnytte dybtliggende råstoffer, ikke blot olie i dybtliggende jordlag, men også oceanbundens uhyre store forekomster af mangan, nikkel, m.m.

Det er tanken at holde "VARV"s læsere løbende orienteret om resultaterne af de forskellige faser af Mohole projekterne, samt om planerne for kommende fremstød.



Henning Sørensen