

A Föld felfedezése a tenger alatt

Exploring the Earth under the sea

ID. ŐSZ ÁRPÁD
E-mail: oszarpad46@gmail.com

A tudományos fúróhajók lehetővé teszik a kutatók számára, hogy hozzáférjenek a Föld néhány legnagyobb kihívást jelentő környezetéhez, adatokat és mintákat gyűjtve üledékből, kőzetből, folyadékokból és élőlényekből a tengerfenék alól. A tudományos óceánfúrások terén régóta tartó nemzetközi együttműködés átalakította az emberiség bolygónkról alkotott képét, alapvető kérdéseket vetve fel a Föld dinamikus történetével, folyamataival és szerkezetével kapcsolatban. A tudományos óceánfúrások, mint kutatási technika, térnyerése új eszközök és módszertanok kifejlesztéséhez vezetett, és tartós nemzetközi együttműködések elősegített a kutatás, az oktatás és a nyilvánosság bevonása terén.

Kulcsszavak: tenger, mélytenger, óceán, üledék, tengerfenék, expedíció, fúrás, magvevő, magfúró, fúróhajó, mintavétel, felszálló cső, Moho-felület, eredmények, rekordok, tervek

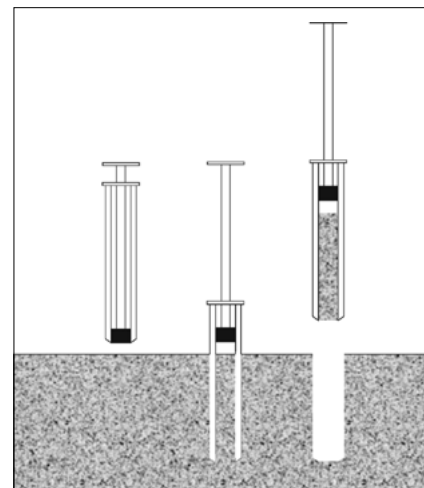
Scientific drill ships allow researchers access to some of Earth's most challenging environments, collecting data and samples of sediment, rock, fluids, and living organisms from below the seafloor. A long-running international collaboration in scientific ocean drilling has transformed human understanding of our planet, addressing fundamental questions about Earth's dynamic history, processes, and structure. The growth of scientific ocean drilling as a research technique has led to the development of new tools and methodologies and has fostered enduring international collaborations in research, education, and public engagement.

Keywords: sea, deep sea, ocean, sediment, seabed, expedition, drilling, corer, coring, drill ship, sampling, riser, Moho surface, results, records, plans

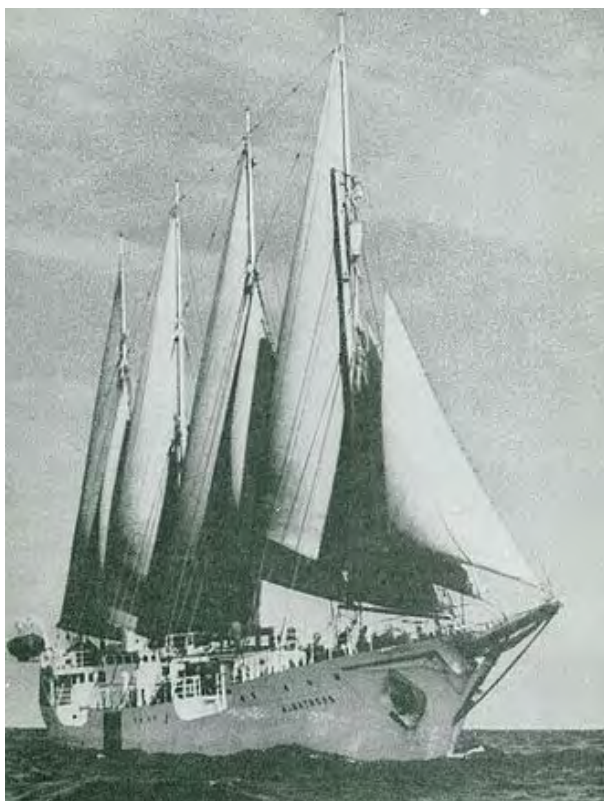
A kezdetek

A tengerből kinyert magminták különösen hasznosak, mivel a szárazföldi üledékekkel ellentétben ezek nagyrészt érintetlenek. Senki nem bolygatta meg azokat ásással, szántással, fúrással vagy csupán rajtuk történő járással. A zavartalan tengeri üledékek tanulmányozásával a szakemberek a legtisztább képet kapják a Föld különböző időszakairól, emellett többet megtudnak a Föld egymással összefüggő és kölcsönhatásban lévő rendszereiről. Ezek az üledékek – amelyek a geológiai idővel lassan felhalmozódtak – mikroszkopikus fossziliákat tartalmaznak, amelyek összetétele az ősi tengeri viszonyokra utal. Korábban a tengerek fenekéről az üledék kinyerésére használt mintavevő eszközök csak körülbelül 2 méter mélyre, azaz néhány ezer évnnyire hatoltak le az üledékbe. Az 1940-es években kifejlesztett dugattyús magvevő (1. ábra) lehetővé tette, hogy hosszabb üledékszakszokat (maximum 18 méter) nyerjenek ki az óceán- és

tengerfenékről. A dugattyús magvevőt először a svéd *Albatross* kutatóhajó világkörüli útja során használták az 1947 és 1948 években. Ennek segítségével a svéd kutatóknak 18 méter hosszú üledékmagokat sikerült



1. ábra. A dugattyús magvétel elve



2. ábra. Az Albatross kiképzőhajó

a felszínre hozni, ami további kétmillió évet jelentett a kutatások időtartamát illetően. Ezzel az expedícióval kezdődött el a Föld felfedezése a tenger alatt, ezzel kezdték el a világ tengereinek alján megőrzött gazdag és változatos bolygótörténet megismerését.

Az Albatross – expedíció egy svéd oceanográfiai expedíció volt, amely 1947. július 4. és 1948. október 3. között 15 hónap alatt körbehajózta a világot, 45 000 tengeri mérföldet (~83 400 kilométer) megtéve. Az expedíció nagyon sikeres volt, nemzetközi figyelmet vonzott, és az oceanográfia története egyik fontos lépésének tekintik. Az expedíciót az újonnan épített Albatross kiképzőhajóval hajtották végre. A 70 méter hosszú és 11 méter széles hajó kombinált motoros és vitorlás hajó volt (2. ábra).

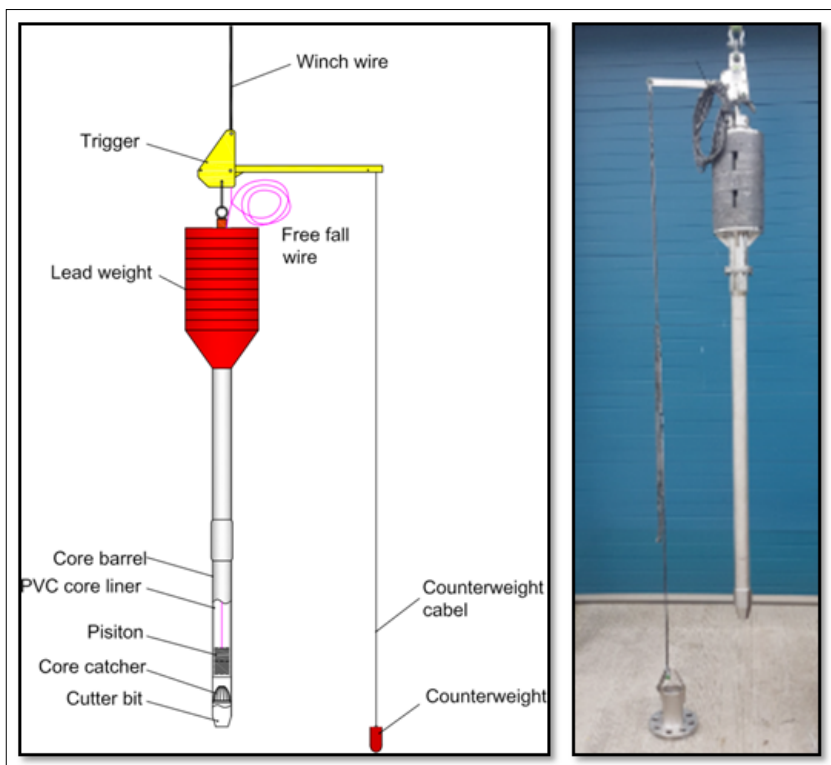
A Boström Line Társaság a leendő hajóstisztek kiképzésére építette, és a hajót a hozzá tartozó légénységgel együtt – szinte ingyen – kölcsönadták az expedíciónak. Az expedíciót kizárólag magánadományokból finanszírozták, a vezetője Hans Pettersson svéd fizikus és oceanográfus volt. Az ex-



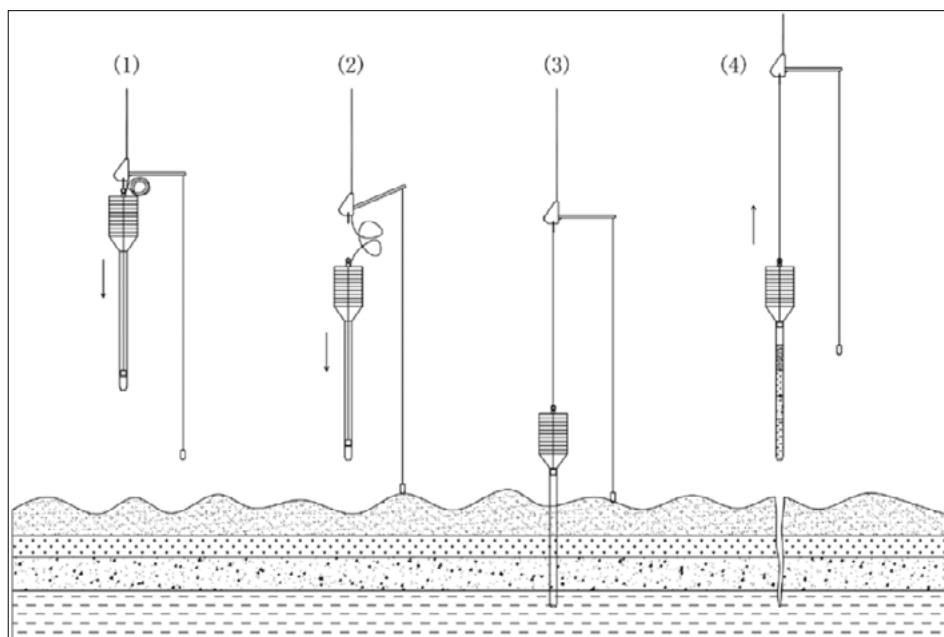
3. ábra. A dugattyús magvevő beépítése az Albatross kiképzőhajóról

pedíció fő feladata az volt, hogy 18 méter hosszú üledékmintákat vegyen az óceán fenekéről. Ezt a Börje Kullunberg oceanográfus által kifejlesztett dugattyús magvevővel végezték el (3. ábra).

Az expedíció elvégezte az üledékvastagság első szeizmikus reflexiós méréseit is vízbe süllyesztett szondák segítségével. Az üledékvizsgálatok eredményei úttörőek voltak, mivel kimutatták, hogy az



4. ábra. Dugattyús magvevő



5. ábra. A dugattyús magvétel folyamata: (1) beépítés, (2) kioldás, (3) magvétel, (4) kiépítés

üledékvastagság a középóceáni hátságoktól távolodva az üledék felhalmozódási idejével együtt nőtt. Ez egyike volt azon bizonyítékoknak, amelyek végül a lemeztektonika elméletének elfogadásához vezettek. Az üledékek mellett az expedíció az óceán biológiáját is vizsgálta. Az első mélytengeri vonóhálós halászat – 7600–7900 méteres mélységben – kimutatta, hogy ezek a mélységek nem a korábban elfogadott holt zónát alkotják [1].

A dugattyús magvevő egy hosszú (maximum 18 méter) erős rozsdamentes acél magcső, amelynek tetején ólomnehezék van (maximum 10 darab, egyenlő 100 kilogrammos), alsó végén kívül vágósaru, belül rugós magszakító (magfogó) van. Az acél magcsőön belül végig átlátszó PVC belső magcső helyezkedik el, amelynek az alján belül tömítéssel ellátott dugattyú van, amely lezárja a belső magcsövet. Ez a dugattyú a szabadeséses dróthuzállal összeköttetésben van az acél magcső tetején lévő kioldószerkezettel.

A kioldószerkezethez csatlakozik a működtető kábel, amelynek a végén található a 30 kilogrammos működtető súly (4. ábra) [2]. A dugattyús magvevő működése a következő: A hajóról egy drótkötéllel engedik le a dugattyús magfűrőt a tengerbe (5. ábra).

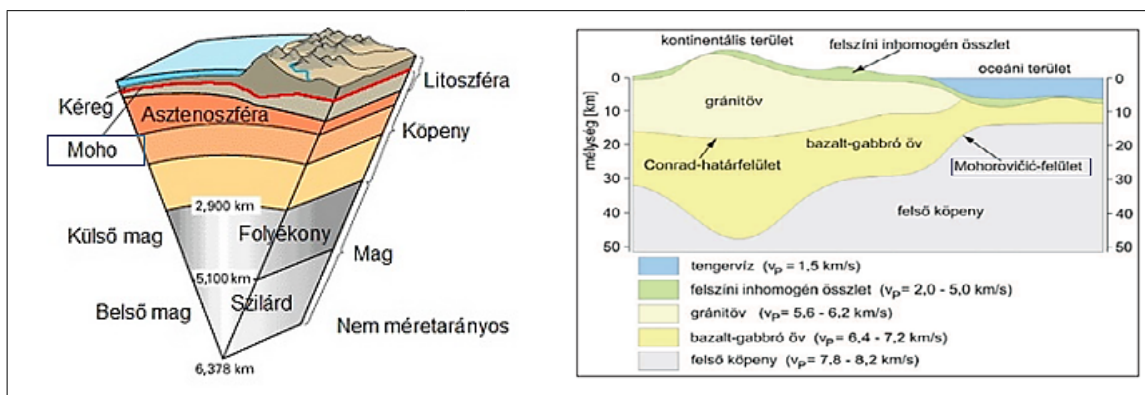
Az 5. ábra részletezése: (1) Amikor a 30 kilogrammos működtető súly eléri a tengerfenéket és nekiütözik annak, a működtető kábel aktiválja a kioldószerkezetet, amely kioldja a magcsövet, (2) és az nagy sebességgel – az ólomnehezék tömegétől függően – befűrődik a tengerfenéken lévő üledékbe. (3) Miután a dugattyú által lezárt belső magcsőben légköri nyomás van, kívül pedig a tengerfenéken lévő nyomás uralkodik, a kialakult nyomáskülönbség (vákuum) elősegíti az üledék benyomulását a belső csőbe. Ez

a folyamat másodpercek alatt játszódik le. Ezután a hajó legénysége a drótkötéllel megemeli a dugattyús magvevőt, a magszakító a belső magcsőbe becsúszott magot elszakítja a tengerfenéken lévő üledéktől és nem engedi kicsúszni, majd felhúzzák a felszínre a dugattyús magvevőt. (4) A felszínen a magcsövet két bakra kifektetik és hidraulikusan vagy mechanikusan működtetett dugattyúrúddal kinyomják a belső csőből a magot

A MOHOLE projekt (MP) (1961–1966)

A Mohorovičić-felület (Moho) a földkérget a földköpenytől elválasztó határfelület, amelynek jellemzője a kőzetek sűrűségében, valamint az azokon keresztül haladó szeizmikus hullámok sebességében bekövetkező hirtelen változásában van. Az óceánfenék alatt kb. 6 kilométer mélységben helyezkedik el, azonban a kontinensek alatt a felszínhez viszonyított mélysége a 70 kilométert is elérheti. Nevét Andrija Mohorovičić horvát geofizikustól kapta, aki 1909-ben a földrengéshullámok sebességadataiból számította ki és határozta meg a helyzetét (6. ábra).

Két amerikai egyesült államokbeli tudós 1957-ben javasolta az *American Miscellaneous Society*-ben – amely az amerikai földtudósok inkább ismeretterjesztő, mint tudományos társasága – a földkéreg átfúrását. Ennek tanulmányozására egy mélyfúrási bizottságot hoztak létre. 1960-ban ez a felvetés már nemzetközi szervezetet is kapott: Helsinkiben, a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió ülésén Nemzetközi Felső-Köpeny Bizottságot alakítottak 40 állam részvételével. Kidolgozták a MOHOLE óceáni fúrási programot (a MOHOLE egy szójáték, azaz a Mohorovičić = MOHO-felületbe mélyített lyuk, angolul HOLE).



6. ábra. A Mohorovičić-felület

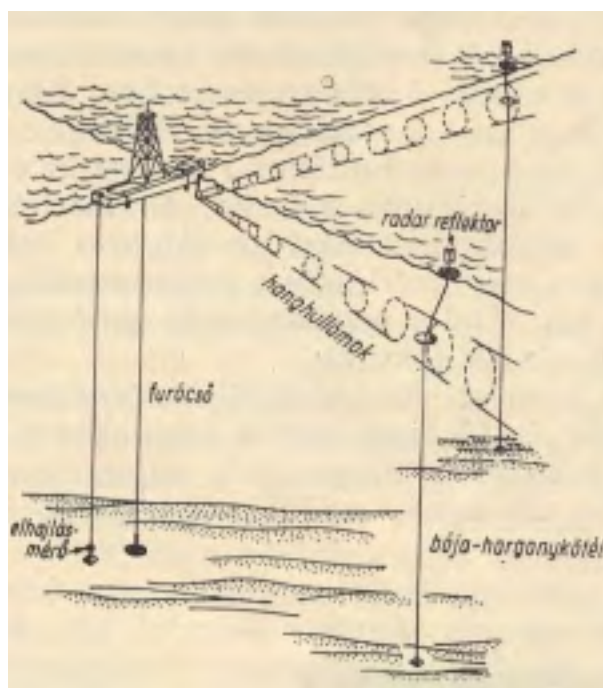


7. ábra. A CUSS I fúróhajó

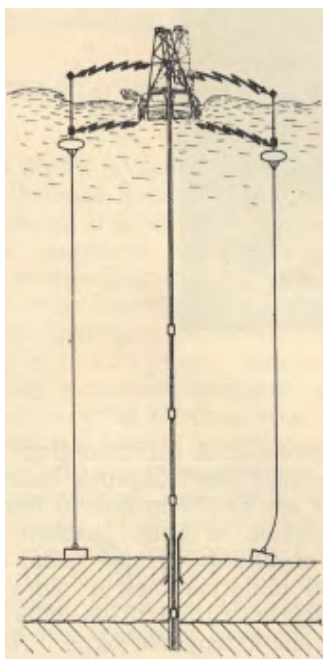
A legelőnyösebb fúrási helynek a Guadelupe-sziget és a mexikói partok közötti terület látszott, éspedig a Gauadelupe-szigettől 74 kilométer távolságra keletre, ahol a Moho-felületig az összes mélység 9–10 kilométer és ebből a tengermélység mintegy 3600–3700 méter. Öt kísérleti fúrást 3570–3760 méter mély tengeren át mélyítették le a tengerfenékre. Az öt fúrás tengerfenékre mélyített összes hossza 745 méter volt, a legmélyebb közülük a tengerfenék szintjétől számított 183 méter talpat ért el. Összességében egyik sem érte el a Moho-felületet. Ezt követően a Hawai-szigetektől 184 kilométerre északnyugatra mélyítették le a 4400 méter mély vízben egy fúrást, azonban ez sem érte el a megcélzott felületet. Az eredetileg 15 millió USD előirányzattal indult projekt költségei azonban 100 millió USD fölé emelkedtek, így 1967-ben a szenátus nem szavazta meg a további munkákhoz kért 19,7 millió USD összeget. A MOHOLE projekt holtpontra jutott.

A kísérleti fúrásokhoz a CUSS I nevű, eredetileg háborús partraszállásra tervezett, a tengeri fúráshoz átalakított hajót használták (7. ábra). (Megjegyzés: A hajó elnevezése az átalakítást finanszírozó Continen-

tal Union, Shell és Superior kőolajtársaságok kezdőbetűiből származik). A CUSS I 79 méter hosszú, 15 méter széles, 4,6 méter merülésű, 300 tonna vízkiszorítású hajó volt, amelynek közepére egy 30 méteres fúrótoronnyal rendelkező 4500 méter mélységkapacitású fúróberendezést szereltek, és 3600 méter vízmélységig tudott dolgozni, valamint a tengerfenékre 180 méterig tudott magot fúrni. A 3600 méter mély vízben át szabadon lévő fúrószárral a fúrás fő problémája a fúróhajó helyben tartá-



8. ábra. A CUSS I fúróhajó radar és szonár (hanglokátor) ernyőkkel vezérelt helyben tartási rendszere



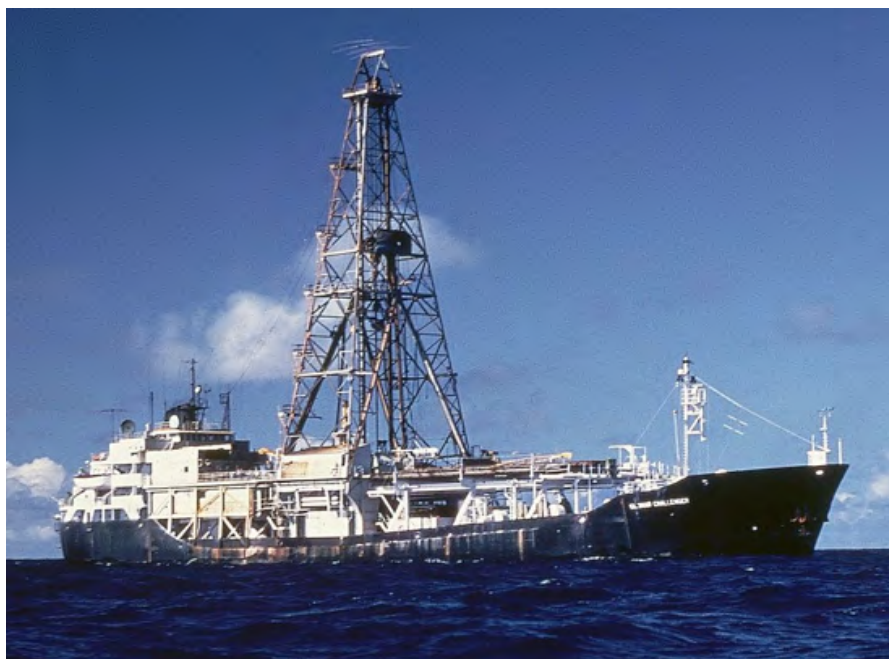
9. ábra. A CUSS I fűrőhajó lengési lehetőségei a hajó alatti vezetőkúp és a tengerfenéken lévő vezetőcső kitöltésére útján

azaz a túlságosan nagy hajlítással járó igénybevételnek az elkerülésére – a hajó maximálisan 30 méteres eltávolodását engedték meg a fűrőpont felől. Miután 3600 méter mélységben a lehorgonyzás kivihetetlennek látszott, ezért radar és szonár (hanglokátor) készülékekkel vezérelt négy, egyenként 200 LE-s (147 kW) motorral függőleges tengelyen hajtott, bármely irányban forgatható hajópropellerrel oldották meg a helyben tartást (dinamikus pozicionálás). Ezek biztosították a hajó minden irányú érzékeny elmozdulását.

A hajómotorok vezérlésének rögzített pontjait hat radar- és szonár- (hanglokátor-) ernyő képezte (8. ábra). A rendszer az 50 kilométer/óra sebességű szél és 4 méteres hullámszög mellett is 60 méteres körön belül tartotta a hajót. A fűrőszár védelmére és a hajó lengési lehetőségeinek biztosítására a forgatóasztal alá egy 10 méter hosszú bevezető kúpot szerkesztettek, a tengerfenéken pedig a vezető (horgonyzó) csőoszlop legfelső szálát kúpos bevezető csővel toldották meg (9. ábra) [3].

Mélytengeri fűrési projekt (Deep Sea Drilling Project, DSDP) (1966–1983)

A tudományos óceáni fúrások következő fázisa a DSDP volt, amely két részből állt. Az első részben (1966–1968) különböző nemzetközi tudományos intézetek, ipari társaságok, országok kormányai és magánszemélyek kötöttek szerződéseket a projekt megvalósítására, létrehozták a Föld Mélyéből Min-



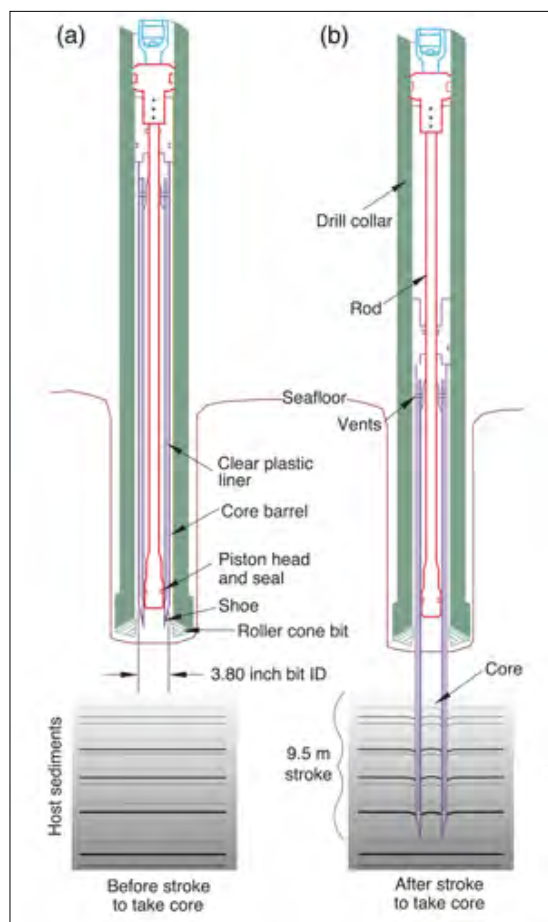
10. ábra. A Glomar Challenger fűrőhajó

tafételező Egyesített Oceanográfiai Intézetet (Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling, JOIDES), legyártották a *Glomar Challenger* fűrőhajót, megteremtették a projekt anyagi hátterét, kijelölték a fúrások helyét és elvégezték a fúrások előtti geofizikai méréseket. A JOIDES székhelye a Kaliforniai Egyetem Scripps Oceanográfiai Intézetében (San Diego) volt, és tanácsadó testülete különböző ország 250 neves tudósából állt. A második szakasz (1968–1983) 96 expedíció 624 helyszínén elvégzett fúrásokból és magfúrásokból állt az Atlanti-óceánon, a Csendes-óceánon, az Indiai-óceánon, a Földközi-tengeren, a Vörös-tengeren és a Déli-sarkvidéken. A legfontosabb felfedezéseket a Dél-Amerika és Afrika közötti óceáni hátság mentén 10 különböző helyen mélyített 17 fúrásból szerezték. A kinyert magok megdönthetetlen bizonyítékot szolgáltatottak a kontinensvándorlásra és a hasadékvonalakban a tengerfenék megújulására. Ez megerősítette Alfred Wegener kontinensvándorlásról szóló elméletét és az egyetlen ősi szárazföld, a Pangea létezését. A magok további bizonyítékokat szolgáltatottak a lemeztektonika elméletének a megerősítésére. A másik felfedezés az óceánfenék fiatalsága volt a Föld geológiai korához képest. Amíg a Föld 4,5 milliárd éves, addig az óceánfenék nem idősebb 200 millió évnél. Összesen 170 043 méter – egyenként 9 méter hosszú és 6,5 centiméter átmérőjű – magot az Amerikai Egyesült Államokban, Németországban és Japánban tárolják. Minden mag egyik felét zárolták a későbbi kutatásokhoz, a másik felét a folyamatban lévő tudományos kutatásokhoz biztosítják. Az összes adat és tudományos eredmény mind papír, mind pedig elektronikus formában elérhető.

1. táblázat. A DSDP fúrási eredményei

Expedíciók száma	96
Kutatott helyszínek száma	624
Összesen megtett út	695 670 km
Legnagyobb vízmélység	7044 m
Teljes fúrási hossz a tengerfenékre	325 548 m
Legmélyebb fúrás a tengerfenékre	1741 m
Maximális behatolás a bazalt kéregbe	1080 m
Magfúrások száma	19 119
Teljes magfúrási hossz	170 043 m
Teljes magnyereség	97 056 m
Teljes magnyereség	57%

A *Glomar Challenger* mélytengeri kutató fúróhajót a Global Marine Inc. (ma Transocean) tervezte, tulajdonolta és üzemeltette, a Livingston Shipbuilding Company (Orange, Texas) gyártotta, és 1968. március 23-án bocsátották vízre (10. ábra). A fúróhajó hossza 122 méter, szélessége 20 méter, magassága 20 méter, vízkiszorítása 10 500 tonna, a fúrótornya 43 méter magas, az utazósebessége 22 kilométer/óra volt, és 90 napig tudott egyfolytában a tengeren tartózkodni.



11. ábra. Hidraulikus dugattyús magvevő és működése: (a) beépítés után és magvétel előtt; (b) magvétel után és kiépítés előtt

A helyben tartását hasonlóan oldották meg, mint az előző fúróhajónál. 1983. novemberében, 15 évnyi tevékenység után a *Glomar Challenger* aktív szolgálata véget ért, majd leselejteztek. A fúróhajó egyes részeit, így a dinamikus helybentartó rendszert, a távirót és a hajtóművet a washingtoni Smithsonian Intézetben tárolják. 1983. augusztus 11-től 1983. november 11-ig elért fúrási eredményeket az 1. táblázat mutatja be.

A magvételt ebben a projektben hidraulikusan működtetett dugattyús magvevővel végezték, amely már alkalmas volt nemcsak puha, hanem a keményebb üledékek mintavételére is.

A hidraulikus dugattyús magvevő (11. ábra) működése a következő: A fúrószárat (fúrócső és súlyosbító) görgős magfúróval beépítik a kívánt mélységig. A vágósaruvall ellátott magcsőszelvényt dróthuzallal beépítik a fúrószáron keresztül a súlyosbító alsó végéig. A 11. ábra részletei: (a) A drótkötelet leoldják és kihúzzák. A fúrószárban lévő folyadékra szivattyúval 160–200 bar nyomást létesítenek (ez 100–125 kN nyomóerőnek felel meg), amely elnyírja a magcsövet rögzítő csapszegeket és a létrejött nyomóerő a 9,5 méter hosszú magcsövet 6 méter/másodperc sebességgel benyomja az üledékbe. (b) A művelet befejezése után a magcsőszelvényt dróthuzallal megfogják és kiépítik. A magcsőből a magot kiszedik, és magcsőszelvényt újból összeállítják. A lyuktalpon lévő görgős magfúróval továbbfúrnak 9,5 métert vagy a következő magvétel mélységéig, és a magvételi műveletet megismétlik addig, amíg szükséges. [4] A görgős magfúró és magcső végén lévő vágósarut a 12. ábra mutatja.



12. ábra. Görgős magfúró és vágósaru

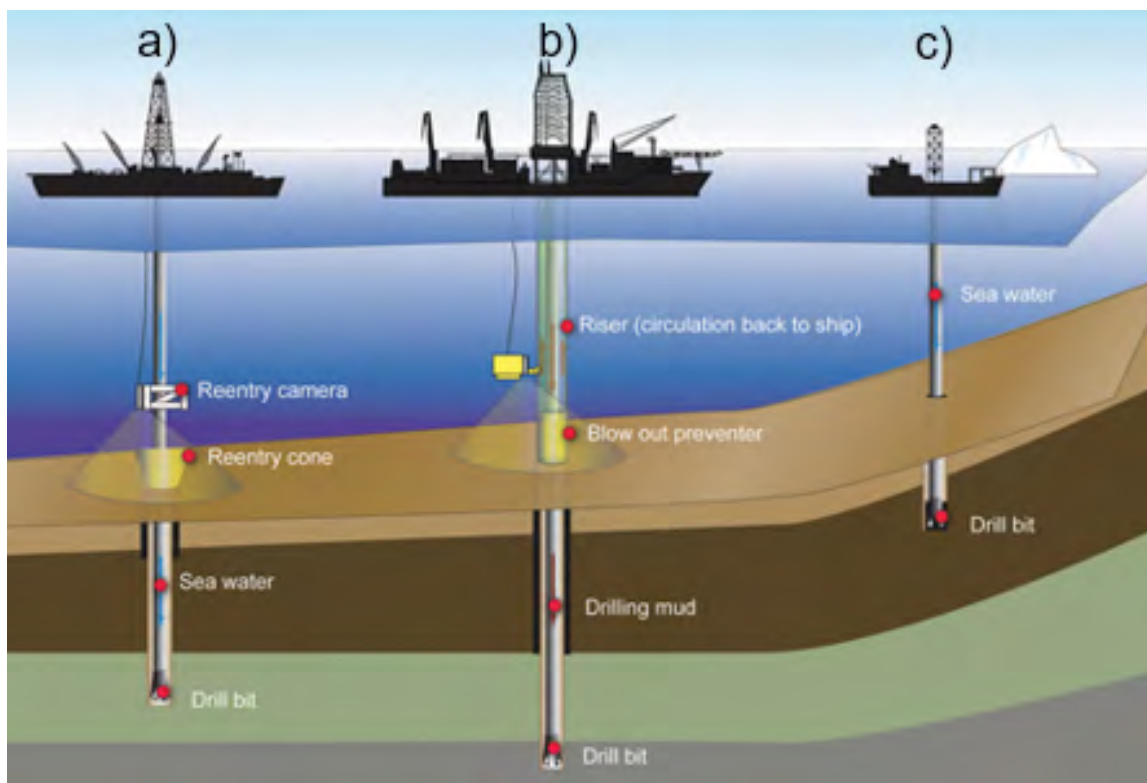
Óceánfúrási program (Ocean Drilling Program, ODP) (1983–2003)

Az Óceánfúrási Program közvetlen utódja a Mélytengeri Fúrási Projektnek, azonban egy célirányosabb és szervezettebb program volt. A programot vezető intézmények az óceánfúrási technológia korszerűsítését és a kutatások bővítését határozták meg. A program finanszírozásának kétharmadát az USA Nemzeti Tudományos Alapítványa, míg egyharmadát a 22 nemzetközi együttműködő feleket összefogó JOIDES biztosította. A fúrási műveleteket a Texas A&M Egyetem (College Station, Texas), a magfúrásokat pedig Columbia Egyetem Lamont-Doherty Földmegfigyelő Intézete (New York) végezte. A program fő feladata volt, hogy alapkutatást végezzen az óceáni medencék történetéről, az óceánfenék alatti földkéreg általános természetéről, az ősi élet eredetéről, a geoveszélyek jelentette kockázatokról, a tektonikus lemezekről és mozgásukról. 111 helyszínen végeztek fúrásokat és magvételt, úgymint az Atlanti-óceán északi részén (beleértve a Norvég-ten-



13. ábra. A JOIDES Resolution kutató fúróhajó

gert, a Labrador-tengert és a Baffin-öblöt), a Földközi-tengeren, a Csendes-óceán keleti részén, a Galápagos-szigeteken, Peru partjainál, a Weddel-tengerben, az Atlanti-óceán déli részén található szubantarktiszi régiókban és az Indiai-óceán egyes területein. Továbbá vizsgálták a Föld mágneses mezejét, a tengerfenéken felhalmozódott gázhidrátokat, a hidrotermális kúrtöket és különböző biológia folyamatokat, elsősorban baktériumpopulációkat.



14. ábra. Fúróhajótípusok: a) felszállócsöves; b) felszállócső nélküli; c) kúrtétesspecifikus (felszálló cső nélküli)

Ebben a programban a *Glomar Challenger* fúróhajót felváltotta a *JOIDES Resolution* kutató fúróhajó (13. ábra). A hajót Az Overseas Drilling Ltd. megrendelésére a Halifax Hajógyár (Új-Skócia, Kanada) készítette. Először 1978-ban bocsátották vízre *Sedco/BP 471* néven, egy szénhidrogénfúró hajóként. Hat évvel később, 1984-ben alakították át tudományos célra és 1985. januárjában az ODP fő kutatóhajójaként kezdett el szolgálni. A *JOIDES Resolution* 2007–2008 év folyamán korszerűsítették, és 2009. februárjában állították ismét aktív szolgálatba laboratóriumi létesítményeinek és szállásrészlegének átfogó felújítását követően. A fúró-kutatóhajó hossza 143,4 méter, szélessége 21,3 méter, fúrótorony magassága 62 méter, vízkiszorítása 10 282 tonna, merülése 6,6 méter, sebessége 21 kilométer/óra volt, 125 fő tartózkodott a fedélzeten (60 fő legénység és 65 kutató) és 75 napig tudott egyfolytában a tengeren tartózkodni. A fúrótorony előtti jobb oldalon volt a hétszintes kutató épület különálló laboratóriumokkal, amelyekben a legkorszerűbb berendezésekkel vizsgálták az üledékek és kőzetek fizikai tulajdonságait, mágnesességét és ősmaradvány tartalmát. Jól felszerelt laboratóriumok álltak rendelkezésre a szervetlen és szerves kémiai elemzésekhez, továbbá különböző röntgenvizsgálatokhoz. A tudományos feladatokat fotólaboratórium, elektronikai javítóműhely, analóg és digitális geofizikai adatbázis, globális helymeghatározó navigációs rendszer, központi számítógépes szerver 50 számítógéppel és kiváló referencia-könyvtár támogatta. A dinamikus helypozicionáló rendszerre képes volt a hajót helyben tartani a hosszú, rövid és ultrarövid hullámhosszon üzemelő vezérléssel. A rendszert 12 db 800 LE-s (596 kW) behúzzható hajtómű, valamint két fő hajócsavar alkotta, amelyeket egyenként 6 db 750 LE-s (559 kW) motor hajtott. A helyben tartó rendszernek a hajót a tengerszint $\pm 2\%$ -án kellett tartania 85 kilométer/óra szélesebségnél, 110 kilométer/óra széllekedéseknél, 4,5 méter

2. táblázat. Az ODP fúrásai eredményei

Expedíciók száma	111
Kutatott helyszínek száma	669
Összesen megtett út	659 306 km
Műveleti napok száma	6591
Fúrt kutak száma	1797
Legmélyebb fúrás a tengerfenékre	2111 m
Legkisebb vízmélység	37,5 m
Legnagyobb vízmélység	5980 m
Magfúrások száma	35 772
Teljes magfúrás hossz	321 000 m
Teljes magnyereség	222 704 m
Teljes magnyereség	69,40%

átlagos és 7,2 méter maximális hullámmagasságnál, valamint 4,6 kilométer/óra felszíni áramlatoknál.

A magvétel itt módosított hidraulikus dugattyús magvevővel végezték. A módosítást azért kellett elvégezni, mert az előző projektben azt tapasztalták, hogy a keményebb üledék vagy kőzet esetén a magcsövet nem tudták teljes hosszában benyomni a rétegbe. Ezért a magcső hosszát megfelezték (4,75 méter) és megnövelték a nyomóerőt. A programban elért fúrásai eredményeket a 2. táblázat szemlélteti.

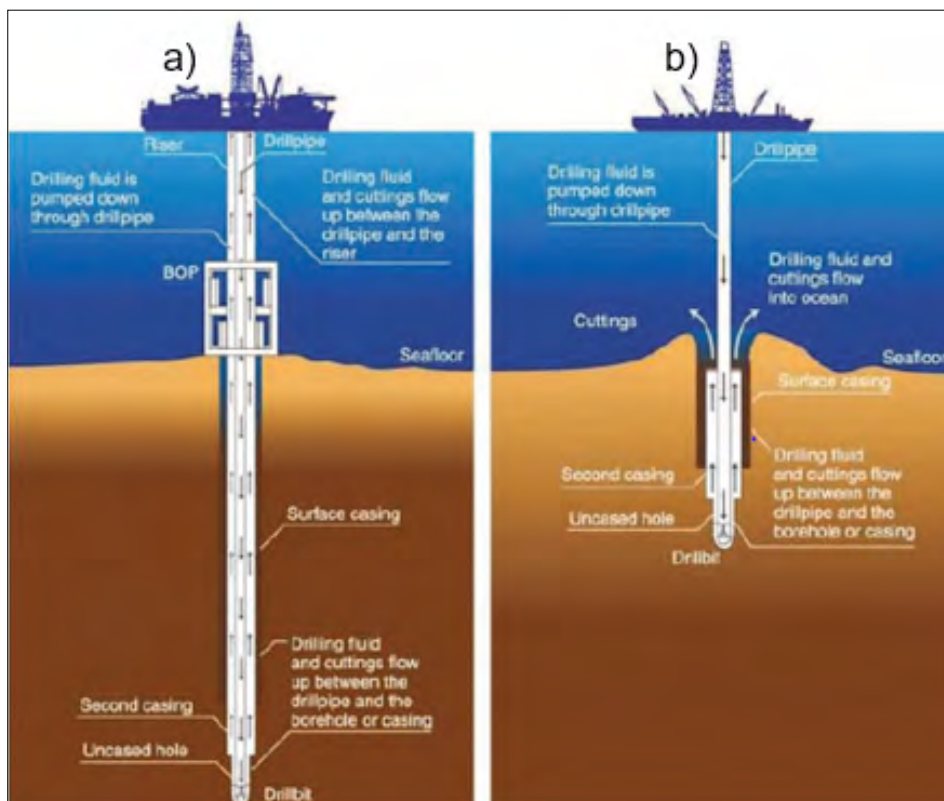
Integrált óceánfúrásai program (Integrated Ocean Drilling Program, IODP1) (2003–2013)

Az Integrált Óceánfúrásai Program a DSDP és az ODP nemzetközi együttműködéseire és tudományos sikereire épített, több tengeri fúróhajót használt, amelyet 26 részt vevő állam finanszírozott. Ez a program abban különbözött az előzőektől, hogy többféle fúrásai technológiát, fúróhajót, tudományos és egyéb közreműködő szervezetet alkalmazott az üledék- és kőzetminták gyűjtésére, valamint a tengerfenékre telepített monitoring műszerek telepítésére. Több száz nemzetközi föld- és óceántudós vett részt önkéntes alapon az IODP 1-ben. A részvétel sokféle formát öltött: fúrásai javaslat benyújtása, 54 expedícióban való részvétel, tanácsadói részvétel, tervezési workshopokon vagy tematikus szimpóziumokon való részvétel. A program központi irányító irodája, az IODP Management International, amely integrált munkatervet koordinált az összes IODP szervezeti partner között. Minden pénzügyi évben éves programtervet készítettek, amely tartalmazta a fúróhajók üzemeltetéséhez szükséges célokat és feladatokat, a tudományos koordinációtól a publikációkig, az adatkezelésig és az ismeretterjesztésig.

Az IODP1 10 éves munkája során a következőket kutatta és vizsgálta meg:

- ❑ a mélytengeri bioszféra és a tengerfenék alatti élővilág;
- ❑ a mozgó kontinensek peremén lévő földrengéskeltő zónák;
- ❑ a tengerfenéken lévő gázhidrátok;
- ❑ az éghajlattörténet, a szélsőséges éghajlatok és a gyors klímaváltozások;
- ❑ a kontinensek szétválásának szerepe a mély üledékes medencék kialakulásában;
- ❑ a vulkáni hasadékok és óceáni fennsíkok kialakulása.

A kitűzött célok eléréséhez három fajta fúróhajót használtak: felszálló cső nélküli (*JOIDES Resolution*), felszálló csöves (*Chikju*) és feladatorientált kisebb méretű fúróhajók (felszálló cső nélküliek). Mi a különbség a felszállócső nélküli és felszállócsöves technológia között? A felszállócső nélküli technoló-



15. ábra. Öblítési technológia: a) felszálló csöves; b) felszálló cső nélküli

giánál a fúrószár szabadon van a vízben, egy bevezető kamera és egy bevezető tölcser segíti a fúrószerszámot a kezdő bélészsőbe újból beletalálni, a fúrási öblítőfolyadék nem jön vissza a felszínre, az a furadékkal együtt a tengerfenéken marad. A felszállócsöves technológiánál a kezdő bélészsőben lévő csőfejen kitörésgátló helyezkedik el, a kitörésgátlótól a felszínig felszálló cső van, ezen a zárt rendszeren keresztül a fúrási öblítőfolyadék a felszínig cirkulál, amelyet

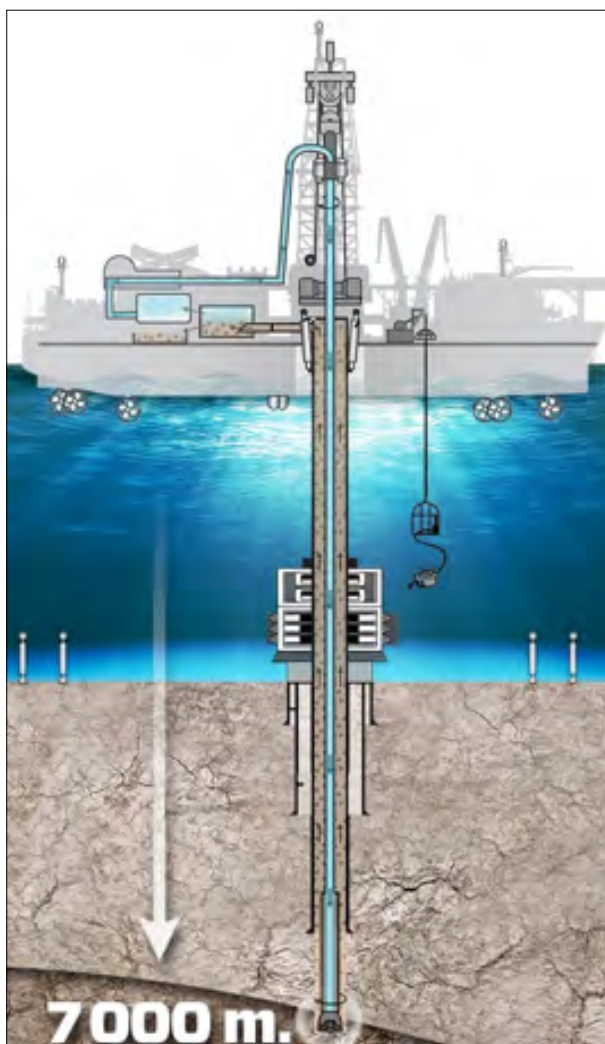
megtisztítják a furadéktól és újból felhasználják, illetve a fúrószárat is ebben a zárt felszálló csőben építik be- és ki (15. ábra) [5].

A JOIDES *Resolution* kutató fúróhajó tovább dolgozott ebben a programban, azonban közben elkészült a *Chikyu* japán tudományos fúróhajó, amelyet kizárólagosan az IODP1 számára építettek (16. ábra). Ezt a fúróhajót a Mitsui Engineering & Shipbuilding építette Nagaszakiban, a Mitsubishi Heavy Industries szerelte fel, és 2005. július 29-én bocsátották vízre.

A hajótest 210 méter hosszú, 38 méter széles, 16,2 méter magas, vízkiszorítása 57 000 tonna, merülése 9,2 méter, utazósebessége 22 kilométer/óra. A hajó közepén helyezték el a fúróberendezést, amelynek 121 méter magas a fúrótornya van, és emelőkapacitása 1000 tonna. Hatótávolsága 27 400 kilométer, a 21 hüvelykes (533,4 mm) felszállócsővel és kitörésgátlóval 2500 méter tengerszínig tud dolgozni, fúrási mélység kapacitása a tengerszínig 7000 méter (17., 18. ábra).



16. ábra. A Chikyu tudományos fúróhajó



17. ábra. A Chikyu fúrési rendszere

Egyszerre 200 fő tartózkodhat a fedélzeten, ebből a hajó és a fúróberendezés legénysége 150 fő és 50 fő tudományos személyzet tud dolgozni a különböző laboratóriumokban. A személyzetcsereket helikopterrel szállítással oldják meg, a helikopter-leszállóhely akkora, hogy 30 személy szállítására alkalmas helikoptereket is tud fogadni. A legfontosabb újítások közé tartozik a GPS-rendszer (GPS, Global Posi-



18. ábra. Kitörésgátló szerelvény a felszálló csővel

tioning System = Globális műholdas helymeghatározó rendszer) és a hat állítható (3,8 méter átmérőjű), számítógéppel vezérelt helyben tartó hajtómű, amelyek lehetővé teszik a fúróhajó pontos helyben tartását és a stabilizálását a mélyvízi fúrások során. A felszálló cső nélküli kisebb feladatorientált fúróhajókat az északi-sarkvidéki, a tahiti, az ausztráliai és az észak-amerikai sekély magvételi expedíciókhoz használták. A Chikyu tudományos fúróhajót 2011. március 11-én a tōhokui földrengés és az azt követő szökőár megrongálta. A hajót a jokohamai dokkban a Mitsubishi Heavy Industries javította meg, és 2011. júniusában állt vissza szolgálatba. A programban elért fúrési eredményeket a 3. táblázat szemlélteti.

3. táblázat. Az IODPI fúrési eredményei

	JOIDES	Chikyu	Kisebb	Összesen
	Resolution		fúróhajók	
Expedíciók száma	35	14	5	54
Kutatott helyszínek száma	145	38	67	250
Fúrt kutak száma	439	95	115	649
Legmélyebb fúrás a tengerfenékre (m)	1928	3059	755	3059
Legkisebb vízmélység (m)	84,2	885	23	23
Legnagyobb vízmélység (m)	5697	6929	1288	6929
Magfúrások száma	8491	927	2676	12 094
Teljes magnyereség (m)	57 289	4886	4131	66 306

Nemzetközi óceánfelfedező program (International Ocean Discovery Program, IODP2) (2013–2024)

Az IODP1 partnerei folytatták együttműködésüket a Nemzetközi Óceánfelfedező Program (IODP2) keretében 2013. októbere és 2024. szeptembere között. A tudományos kutatás 10 éves időszakot ölelt fel, amelyet négy témakörbe szerveztek:

- ❑ a klíma és az óceánok változásai;
- ❑ a bioszféra határai;
- ❑ a Föld összefüggései;
- ❑ a Föld mozgásai.

A kutatási tervet a Földdel foglalkozó nemzetközi tudományos szervezetek közösen dolgozták ki. Az IODP2 továbbra is több fúróhajót (*JOIDES Resolution*, *Chikyu* és *feladatorientált kisebb méretű fúróhajók*) használt a kutatóexpedíciók során. Ezeket az expedíciókat az Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Tudományos Alapítvány (NSF), a japán Oktatási, Kulturális, Sport, Tudományos és Technológiai Minisztérium (MEXT), az Európai Óceánfelfedező Fúrási Konzorcium (ECORD), a Kínai Népköztársaság Tudományos és Technológiai Minisztérium (MOST), az Ausztrál – Új-Zélandi IODP Konzorcium (ANZIC) és az indiai Földtudományi Minisztérium (MOES) finanszírozta. Ezek a szervezetek együttesen több mint két tucat ország koalícióját képviselték. Az IODP2 finanszírozási modellje abban különbözik az IODP1-től, hogy az NSF, a MEXT és az ECORD mindegyike saját fúróhajót üzemeltetett. A többi nemzetközi partner közvetlenül hozzájárult a fúróhajók üzemeltetési költségeihez, az expedíciókon való tudományos és tanácsadó testületekben való részvételért. A *JOIDES Resolution* kutatóhajót az NSF számára a Texas A&M Egyetemen (TAMU) működő JOIDES Resolution Tudományos Irányító (JRSO) üzemeltette. A *Chikyu* fúróhajót a MEXT számára a japán Tenger-Föld Kutatási és Mérnöki Intézet (MarE3), a *feladatorientált kisebb méretű fúróhajókat* pedig az ECORD Tudományos Irányító (ESO) üzemeltette.

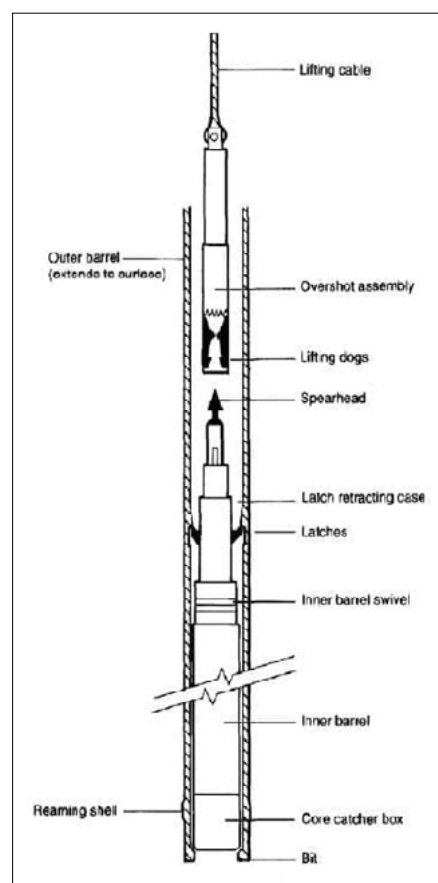
Időközben elkészítették az IODP emblémáját (logóját) is, amelyet minden hivatalos iraton és közleményen használnak (19. ábra).

Az IODP-expedíciók a földtudományi témák széles skáláját vizsgálták, úgymint a múltbeli éghajlati és óceáni viszonyok, a monszunrendszerek, a szeiz-

mikus (földrengést kiváltó) események, a kontinentális kéreg és az óceáni medencék kialakulása, a főbb kihalási események, a kőzetátalakulás szerepe a hidrotermális rendszerek működésében és az élet határai a mély bioszférában. Kiemelkedő eredmény volt, hogy Indiai-gerinc délnyugati részén, ahol a földkéregbe 790 méternyi fúrást végeztek. Mintát vettek a Yucatán-félsziget közelében a tengerben eltemetett Chicxulub becsapódási kráter körül kialakult földgyűrűből. Ez a kráter akkor keletkezett, amikor egy aszteroida 66 millió évvel ezelőtt becsapódott a bolygónkba, elpusztítva a nem madárszerű dinoszauruszokat és a bolygónk életének nagy részét. A gyűjtött minták és az adatok elemzése azt mutatta, hogy az aszteroida becsapódása a Föld mélyéből származó kőzetekből pillanatok alatt hozta létre a földgyűrű magas hegyeit. A földgyűrű feletti üledékek arról is tanúskodtak, hogyan tért vissza az élet a tömeges kihalási esemény után. A tengerfenékre telepített műszerekkel és magmintákon végzett vizsgálatokkal betekintést nyertek a Föld éghajlatába és a szerkezeti mozgások történetébe is. A világ minden tájáról gyűjtött minták vizsgálata megállapította, hogy a széndioxid kibocsátás mértéke ma tízszer nagyobb, mint a paleocén – miocén földtörténet kori hőmérsékleti csúcs idején vagy az elmúlt 66 millió év bármely időszakában.



19. ábra. Az IODP emblémája



20. ábra. Gyorsmagszedő

4. táblázat. Az IODP2 fúrási eredményei

	JOIDES	Chikyu	Kisebb	Összesen
	Resolution		fűrőhajók	
Expedíciók száma	46	5	5	58
Kutatott helyszínek száma	220	8	43	271
Fúrt kutak száma	599	34	115	748
Legmélyebb fúrás a tengerfenékre (m)	1806	1180	1335	1806
Legkisebb vízmélység (m)	87	1939	20	20
Legnagyobb vízmélység (m)	6929	8023	5012	8023
Magfúrások száma	16 226	375	1453	18 054
Teljes magnyereség (m)	93 294	1820	3801	98 915

A magvételhez a hidraulikus dugattyús magvétel mellett bevezették a szénhidrogén-bányászatban már régóta használt gyorsmagszedő (folyamatos/dróthuzalos magfűrő) alkalmazását is (20. ábra) [6]. A dróthuzalos magfűrő egy olyan magfűrési módszer, amely folyamatos üledék- vagy kőzetmintákat vesz nagy mélységekből anélkül, hogy minden egyes mintavétel után ki kellene építeni a teljes fűrőszárat. A gyorsmagszedő egy kettőscsőű magfűrő készülék, amelynek külső köpenycsőve a magfűrővel a fűrőszár végén helyezkedik el, és abba a fűrőszáron át drótkötéllel lebocsátható, és kiemelhető belső magcsővel, ebbe csúszik bele a megfűrő mag. Miután a magot megfűrtek, dróthuzallal kihúzzák a belső magcsövet a maggal együtt, amelyet a felszínen kiszednek. Amennyiben folytatják a magfűrést, az üres belső csövet ismét lebocsátják dróthuzallal a külső köpenycsőbe, és megfűrjék a magot. Ezt a folyamatot addig ismétlik, amíg a magvétel szükséges. Amennyiben úgy döntenek, hogy további teljes szelvényű előfúrás szükséges, akkor a dróthuzallal egy belső fűrőt engednek le, azt rögzítik a köpenycsőben, és már is indulhat a teljes szelvényű fúrás. Amikor eléri a következő magfűrési mélységét, a belső fűrőt dróthuzallal kihúzzák, a belső magcsövet leengedik, és máris kezdődhet az újabb magfűrés. A programban elért fúrási eredményeket a 4. táblázat szemlélteti.

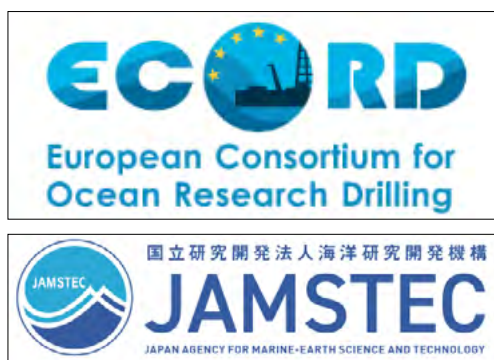
Az NSF 2023 márciusában bejelentette, hogy a növekvő üzemeltetési költségek miatt leállítja a

JOIDES Resolution finanszírozását. A fűrőhajó 2024 júniusában indult utolsó expedíciójára, és a küldetését befejezve 2024. augusztus 2-án Amszterdamban kötött ki. Az NSF és a fűrőhajó tulajdonosa közötti szerződés 2024. szeptember 30-án lejárt, amelyet nem újítottak meg, így JOIDES Resolution az amszterdami kikötőben várja további sorsát.

Nemzetközi óceánfűrési program (International Ocean Drilling Program, IODP3) (2025–2050)

Az IODP2 2024. év végén befejeződött, és közben két évig tartó kemény tárgyalássorozat után az Európai Óceánfelfedező Fűrési Konzorcium (ECORD) és a Japán Tenger-Föld Tudományos és Technológiai Ügynökség (JAMSTEC) (21. ábra) – akik egyedül támogatták a nemzetközi program folytatását – 2024. szeptember 30-án bejelentették, hogy megállapodtak egy közös tudományos óceánfűrési program, az IODP3 (22. ábra) létrehozásában, amely 2025. január 1-jével indul.

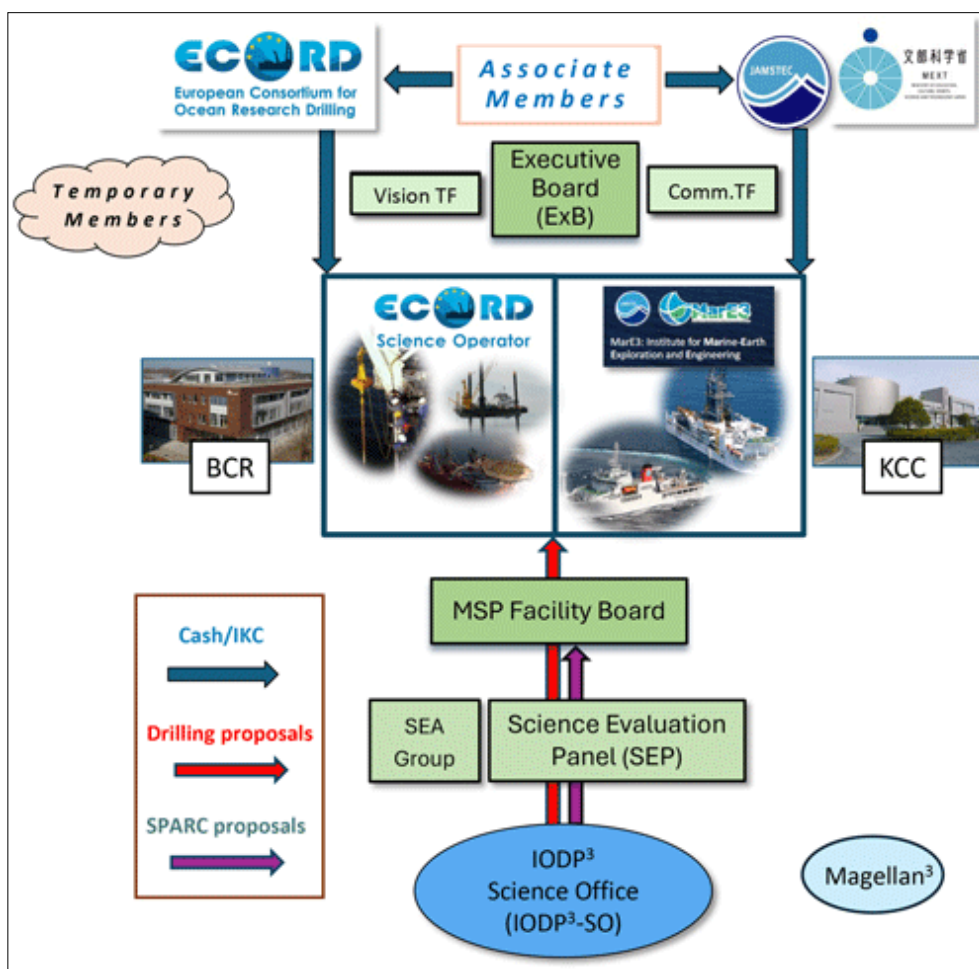
Az IODP3 egy olyan nemzetközi tengerkutatói együttműködés, amely óceánjáró kutató- és fűrőhajók segítségével vizsgálja a Föld történetét és dinamikáját, hogy adatokat szerezzen a tengerfenék üledékeiből és kőzeteiből, továbbá megfigyelje a tengerfenék alatti környezetet. Az ECORD és JAMSTEC által finanszírozott létesítményekre támaszkodik, további partnerek pénzügyi hozzájárulásával. Ezek a partnerek együttesen 17 államot képviselnek, amelyek tudósait a program világóceánokban folytatott kutatóexpedíciókhoz, valamint az óceánfűrési archívumok feldolgozásához választják ki [7].



21. ábra. Az ECORD és JAMSTEC



22. ábra. Az IODP3



23. ábra. Az IODC3 szervezeti felépítése és működése

Az IODP3 irányító testületei az ECORD és a JAMSTEC. A programban részt vevő nemzetközi kutatói közösségek a javasolt tengeri expedíciókat és az óceánfúrás archívumok (SPARC) feldolgozásának javaslatát a Küldetés-specifikus Testületen (MSP) keresztül a Tudományos Irodához (IODP3-SO) nyújtják be. A Tudományos Értékelő Testület (SEP) az összes benyújtott javaslatot nyíltan és átlátható módon értékeli, sorrendbe állítja. A SEP-et a versenyfelhívások útján kiválasztott nemzetközi szakértők alkotják. A Biztonsági és Környezetvédelmi Csoport (SEA) tanácsadó testületként működik, és a tengeri fúróhajókat üzemeltetők számára tanácsokat ad a fúrás helyek általános és sajátos földtani környezetével kapcsolatban felmerülő biztonsági és környezeti kérdésekkel kapcsolatban. A SEP-et és a SEA-t logisztikai támogatással látja el az IODP3-SO, és azok fogják kiszolgálni a program végrehajtási folyamata során alkalmazott fúróhajókat is. A fúróexpedíciókat és az archívumok feldolgozását az MSP Létesítmény Bizottság (MSP FB) ütemezi be azok tudományos fontossága és a rendelkezésre álló erőforrások alapján. A Végrehajtó Bizottság (ExB) felelős a hatékony döntéshozatal biztosításáért és a program felügyeletéért. A Magellan3 (Magellan3) műhelyek célja, hogy

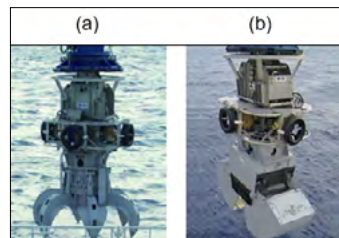
támogassák a programban dolgozó szakemberek és tudósok új és innovatív tudományos javaslatok kidolgozásában, amelyek elősegítik a célkitűzések megvalósítását. Az ExB tevékenységét további két munkacsoport is támogatja: a Vízión Munkacsoport (Vision TF), amelynek feladata a hosszú távú tudományos és finanszírozási stratégia kialakítása és a Kommunikációs Munkacsoport (Comm. TF), amely a program egészére kiterjedő kommunikációs tevékenységért felelős (23. ábra).

Az expedíciók időtartama rugalmas, amelyeket a tudományos igények és a rendelkezésre álló anyagi források határozzák meg. A program magában foglalja a németországi (Bremen) és a japán (Koch) központi adat- és magtárak által nyújtott szolgáltatásokat is.

A program indulásakor a japánok két kutató-fúróhajót biztosítottak, az egyik az előzőekben már ismertetett *Chikyu*, a másik pedig a *Kaimei*. A *Kaimei* kutató-fúróhajót a Mitsubishi Heavy Industries építette a JAMSTEC számára és 2016. március 30-án bocsátották vízre. A hajótest 100,5 méter hosszú, 20,5 méter széles, 6 méter magas, vízkiszorítása 5 747 tonna, merülése 9 méter, utazósebessége 41 kilométer/óra, hatótávolsága 1668 km, hajtás 2×2400 kW villanymotor, 2 db számítógéppel vezérelt helyben tartó hajtóművel



24. ábra. A Kamei kutató-fűróhajó



25. ábra. Tengerfenék-mintavevő: (a) hatujjas kosár; (b) kagylólóhéj alakú vödör



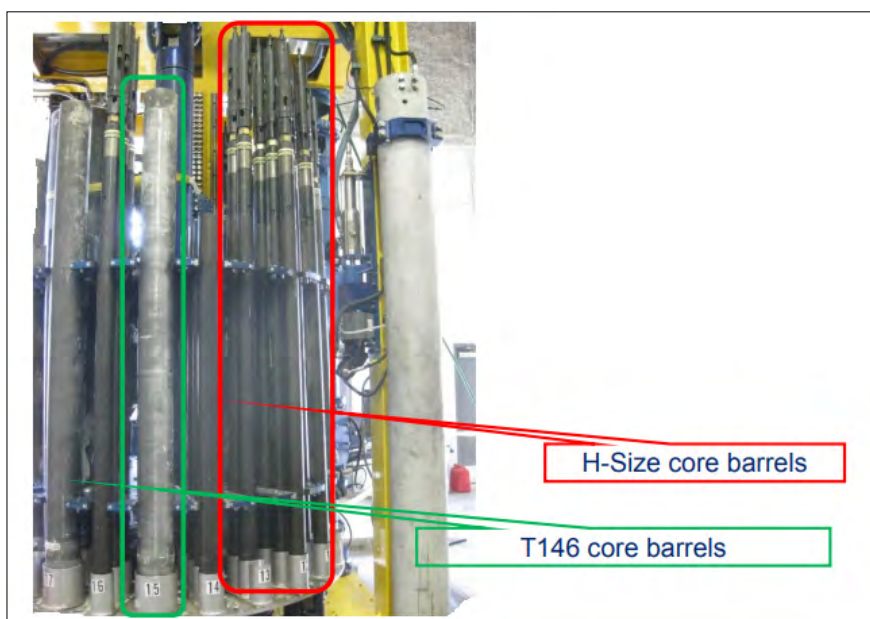
26. ábra. Hidraulikusan működő magvevő készülék



27. ábra. Távirányítású tenger-alatti jármű



28. ábra. Magfűrórobot



29. ábra. A magfűrórobot magcsövei

rendelkezik, elhelyezés 65 fő (27 fő hajólegénység és 38 fő kutató) (24. ábra) [8].

Tudományos-műszaki felszereltsége:

□ Három laboratórium:

1. laboratórium: akusztikus berendezések és meteorológiai eszközök, megfigyelő rendszer
2. felszáraz laboratórium: mintafeldolgozás és elemzés
3. nedves laboratórium: mintafeldolgozás és elemzés

□ Kétdimenziós (2D) szeizmikus mérő: egy db műszer 12 000 m méter hosszú mérőkábelrel

□ Háromdimenziós (3D) szeizmikus mérő: négy db műszer, egyenként 3000 m hosszú mérőkábelrel

□ Nagy felbontású háromdimenziós (3D) szeizmikus mérő: 20 db műszer, egyenként 300 m hosszú mérőkábelrel

□ Tengerfenék mintavevő: maximális vízmélység 6000 m, maximális térfogat 1 m³, az egyik hatujjas kosár, a másik kagylóhéj alakú vödör (25. ábra)

□ Tengervíz mintavevő: 12 000 m hosszú drótkötél, 36 palack, egyenként 12 liter térfogatú

□ Hidraulikusan működő magvevő készülék: 12 000 m hosszú drótkötél, magvevő hossza 40 m és átmérője 110 mm (26. ábra)

□ Távirányítású tengeralatti jármű: maximális vízmélység 3000 m, felszerelve kamerákkal, biológiai és kőzetminta gyűjtővel (27. ábra)

□ Magfúrórobot (BMS) (28. ábra):

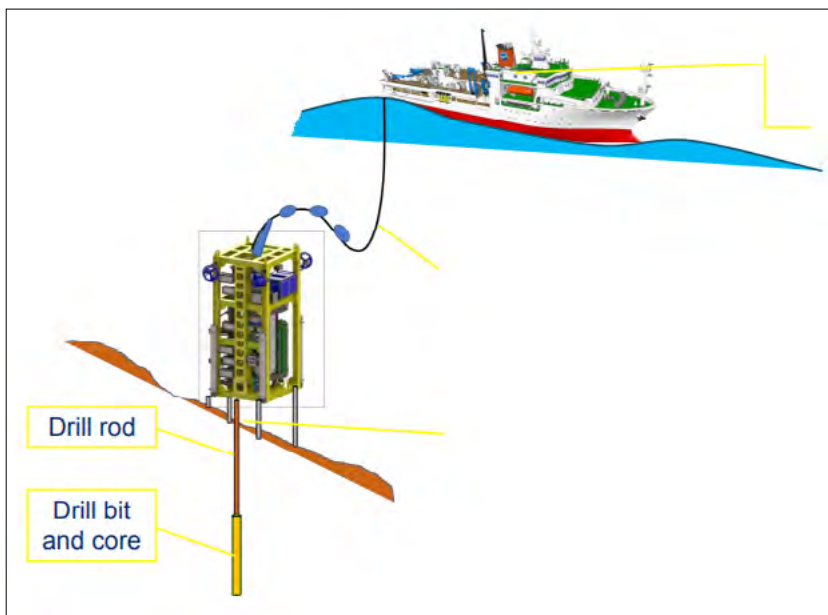
Méretei: 3,2 m × 2,4 m × 5,6 m

Tömege: levegőben 13 tonna, vízben 10 tonna

Maximális vízmélység 3000 m

Magcsövek (29. ábra):

- T146 magcső: átmérő 120 mm, hossz 1,5 m, mennyiség 5 db
- H-méretű magcső: átmérő 63 mm, hossz 1,5 m, mennyiség 40 db
- Nagyátmérőjű magcső: átmérő 450 mm, hossz 1,5 m, mennyiség 2 db



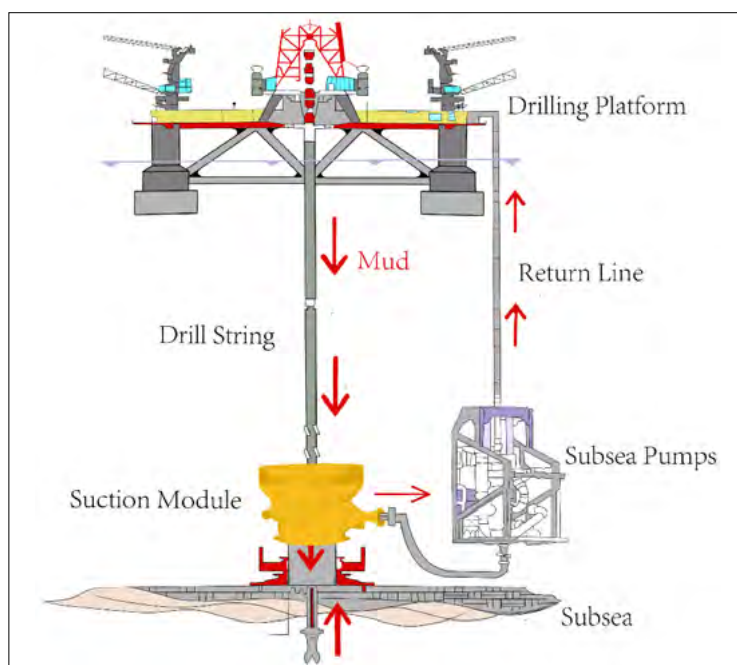
30. ábra. A magfúrórobot működése



31. ábra. A Meng Hsziang mélytengeri kutató-fúróhajó

A magfúrórobotot a Cellula Robotics Ltd. (Kanada, Burnaby) tervezte és gyártotta, és ezen a kutató-fúróhajón alkalmazták először. A magfúrógépet drótkötélrel és elektromos kábelrel építik be a tengerfenékre. Miután a gép stabilan felült a talajon, elektromos vezérléssel a magcsöveket egyenként, egymás után 1,5 méter mélyen benyomják az üledékbe. A mintavételek után a gép automatikusan visszahúzza a magcsövet eredeti helyzetébe. A magfúrások befejezése után a magfúrógépet kiépítik, és a magcsövekből kiveszik a magokat (30. ábra).

Közben Kína 2024. november 17-én bejelentette, hogy elkészült és vízre bocsátották az első hazai tervezésű és gyártású mélytengeri fúróhajót, amelynek a tengerszinttől számított maximális fúrási mélysége 11 000 méter (31. ábra).



32. ábra. Felszálló nélküli öblítési technológia

A Kínai Természeti Erőforrások Minisztériuma megrendelésére a Huangpu Wenchong Shipbuilding építette és a Kínai Földtani Szolgálat üzemelteti. Kína legnagyobb tudományos kutatóhajójaként a *Meng Hsziang* (magyarul *Álom*) 179,8 méter hosszú, 32,8 méter széles, merülése 8 méter, vízkiszorítása 42 600 tonna, hatótávolsága 27 800 kilométer, önálló képessége 120 nap és 180 fő tud egy időben tartózkodni a fedélzeten. A hibrid hajtásrendszer olyan akkumulátorokat tartalmaz, amelyek 15%-os energiamegtakarítást biztosítanak. A fúróberendezés hidraulikus emelőkapacitása 907 tonna, négyfajta fúrási technológiával tud dolgozni (felső meghajtás, lyuktalpi meghajtás, felszállócsőves technológia, felszálló nélküli öblítési technológia), három magvételi móddal rendelkezik (hidraulikus dugattyús magvevő, gyorsmagszedő és magfúrórobot). A hajó 9 korszerű laboratóriummal rendelkezik, többek között geológiai, geokémiai, mikrobiológiai, óceántudományi és fúrási technológiai laboratóriummal. Továbbá a hajón automatizált magminta tároló rendszer is van. Úgy tervezték a hajót, hogy ellen tudjon állni a szélsőséges tájfunoknak is, lehetővé téve a biztonságos fúrási műveleteket. A hajó képes kőolaj- és földgázkutató/feltáró fúrások mélyítésére, tengerfenéki gázhidrát kutatására és próbatermeltetésére, valamint tudományos fúrások elvégzésére is [9].

A felszálló nélküli öblítési technológia aránylag új keletű, a 4000 méternél mélyebb vízmélységeknél használják (32. ábra). A fúrószár szabadon van a vízben, amelyen keresztül nyomják az öblítőiszapot a fúrólyukba. A tengerfenéken lévő fúrólyuk csőfejszerelvényének tetejére szénhidrogénfúrásoknál forgó

kitörésgátlót, földtani fúrásoknál elterelő egységet helyeznek. A fúrólyukból ezek alatt kiáramló öblítőiszapot egy vagy több tengeralatti szivattyú egy vékony flexibilis vezetéken a felszínre nyomja, ezzel biztosítja a folyamatos zárt öblítőkört [10].

A Kínai Természeti Erőforrások Minisztériuma megkezdte a tárgyalásokat az IODP3 Végrehajtó Bizottságával arról, hogy mikor és milyen feltételekkel biztosítaná a *Meng Hsziang* kutató- és fúróhajót a program megvalósításához.

Befejezés

A fent ismertetett programok együttesen a leghosszabb ideje futó és legsikeresebb földtudományi együttműködést képviselik. A világ földtudománnyal foglalkozó szakemberei nagy várakozással figyelik az IODP3 eredményeit, különös tekintettel arra, hogy ki és mikor éri el a Mohorovičić-felületet (a Mohot) és hoz fel belőle magmintát.

Irodalom

- [1] Exploring the Earth Under the Sea. <https://www.iodp.org>, 2025
- [2] Introducing Piston Coring – Scientific Ocean Drilling. Penn State Pressbook, 2025. <https://psu.pb.unizin.org/sciod/chapter/giant-piston-coring/>
- [3] Dr. Alliquander Ödön: A „Mohole”, a földkéreg át-fúrásának terve. Földtani Kutatás 10(2), (1967) 60–66. https://epa.oszk.hu/02700/02732/00058/pdf/EPA02732_foldtani_kutatas_10_2_60-66.pdf
- [4] M. A. Stoms, W. Nugent, D. H. Cameron: Hydraulic Piston Coring – A New Era in Ocean Research. OTC-4622-MS, May 02, 1983. https://www-odp.tamu.edu/publications/tnotes/digital/tnote_04.pdf
- [5] Riser Drilling vs. Riserless Drilling. JAMSTEC, 2025.
- [6] What is wireline coring system. Massenza Drilling Rigs, 2025.
- [7] Hanno Kinkel: The International Ocean Drilling Programme-3 (IODP3). ECORD, May 19, 2025. <https://www.ecord.org/the-international-ocean-drilling-programme-3-iodp-cubed-will-start-on-january-1st-2025/>
- [8] RV Kaimei: State-Of-The-Art Vessel for All-Round Marine Research. JAMSTEC Home, 2025. https://www.jamstec.go.jp/mare3/e/ships/research_vessel/kaimei.html
- [9] Meng Xiang: Large deep-drilling ship to support China's geological exploration efforts. Baird Maritime, 26 November, 2024. <https://www.bairdmaritime.com/topic/mengxiang>
- [10] What is Riserless Mud Recovery (RMR). AGR Subsea Inc., September 9–11, 2010.