

# Óceánok – az idő mélye

## Íme, a tenger!

*Az óceánok tudományos kutatása mintegy 200 évvel ezelőtt kezdődött. Ma már egyértelmű az, hogy a Föld működésének megértéséhez az egyik kulcsot az óceánok jelentik. Az óceáni üledékek értékes adatokat őriztek meg a legutóbbi 200 millió év éghajlati változásairól. Annak ellenére, hogy az óceánokról szóló ismereteink a bolygónk működéséről alkotott képet forradalmian átalakították (a legjobb példa erre a II. világháború utáni tengeri expedíciók sora, amelyek a hatvanas évek végén elvezettek a lemeztektonika elméletéhez), még jóval több minden vár felfedezésre – nem csupán az óceánok hasznosítása, hanem a kontinentális lemezszegélyek katasztrófa-kockázatainak enyhítése terén is. A világ népességének mintegy 21 %-a, 1,147 milliárd ember él ugyanis a partmenti 30 km-es sávban.*

Lemeztektonikai megközelítésben egy új szétsodródási vagy szétterjedési központ („spreading centre”) születése gyakran kettétöri a kontinentst, majd egy széthasadó („rifted”) kontinentális lemezszegélypár alakul ki. (Ilyen ma például az Atlanti-óceán két szemközti partvidéke.) Az óceánfenék folyamatosan képződik a szétterülési hátságok („ridges”) globális rendszerében, a képződött óceáni kéreg pedig egyre távolabb kerül a hátságtól.

A mély óceáni medencén történő keresztülhaladás után a tengeraljzat eltűnhet egy óceáni árokban, ahol az óceáni lemez alábukik „szubdukció” történik, gyakran a kontinens alá is: ez történik napjainkban szerte a Csendes-óceán körül. Így tehát az óceánokra vonatkozó tudományos kérdések jó része a szétterülő hátságokra és a kontinentális lemezszegélyekre irányul, akár hasadások (Atlanti-óceán) akár alábukások (Csendes-óceán) az okozói.

## Óceáni hátságok és kontinentális lemezszegélyek

E tudományos kérdések megválaszolására az elmúlt évtizedben két nemzetközi tudományos kezdeményezés is létrejött. Emellett a tudományos célú óceáni fúrásokra irányuló programok (Mélytengeri Fúrási Projekt 1968-1983; Óceánfúrási Program 1985-2003; Integrált Óceánfúrási Program 2003-) az elmúlt 40 évben a Föld óceánokat is magába foglaló dinamikus rendszerének jobb megértéséhez segítettek a földtudományok művelőit azzal, hogy mintát vettek az óceáni üledékekből és az alattuk elhelyezkedő földkéregből.

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve programsorozat ÓCEÁN témája az óceánközépi hátságokkal foglalkozó „InterRidge” és a kontinentális szegélyeket vizsgáló „InterMARGINS” témáit is magában foglaló két kulcskérdésre összpontosít:

- Miként hat egymásra a litoszféra, hidroszféra és bioszféra az óceánközépi hátságokban és milyen szerepet játszanak ezek a kölcsönhatások a földi élet eredetében?
- Milyen földi folyamatok hatnak a kontinentális szegélyek kialakulására és fejlődésére, továbbá milyen előnyöket és fenyegetéseket jelentenek a kontinentális szegélyek az emberiségre?

## Hogyan hat a litoszféra, a hidroszféra és a bioszféra az óceánközépi hátságokra és milyen szerepet játszanak ezek a kölcsönhatások a földi élet eredetében?

A Föld felszínén óriási repedések keletkeznek, amikor a bolygónk külső héját alkotó tektonikus lemezek elmozdulnak egymástól. A repedések az óceáni medencék legnagyobb részét átszelik, és kialakítottak egy 60000 km összhosszúságú, a Földet körülölelő vulkáni rendszert, amit

óceánközepi hátságok néven ismerünk. Ez a vulkáni öv teljes egészében (Izland kivételével) a rejtetten, az óceán alatt 2-4 km-es mélységben húzódik. E hátságok hosszában 20 és 80 km közti mélységben kőzetolvadék (magma) keletkezik, amely a tenger aljzatáig felemelkedik. Ki és feltör. Ezekből a hátságokból eltávolodó magma lassan, de feltartóztatlanul bolygónk hatalmas kiterjedésű területét burkolja újra be. A folyamat bizarr tájat (az angol „landscape” ellentétéként a mélytengeri tájat idéző „bathyscape” kifejezés szerepel az eredeti anyagban; érdekesség hogy Piccard minitengeralattjárójának is „Bathyscape” volt a neve) eredményez forró, mérgező forrásokkal, a napfénytől függetlenedett élőlények sokaságával. Ezeket a tájakat minden alkalommal újra formálják a vulkánkitörések és földrengések.

Ez a terület bolygónknak egy igen érdekes, de kevésbé ismert része, felmerül azonban a kérdés, hogy egészében véve mennyire fontos az effajta vulkanikus tevékenység és az ezáltal táplált élet a világ számára? Milyen szerepet játszanak pl. az ásványtelepek felhalmozódásában, az óceánok kémiai összetételének szabályozásában, a mélytengeri táplálékláncban és az élet kialakulásában? Lévén, hogy a hátságok elképzelhetetlenül hosszúak és viszonylag elérhetetlenek, a feltett kérdések megválaszolása mindig is összehangolt nemzetközi tudományos együttműködést igényelt.

A jelenlegi törekvések bebizonyították, hogy a hátságok nagyon fontosak az óceán mélye és az emberi faj számára. A hátságok lehülő vulkanikus kőzetei által kibocsátott energia kb. fele az ember által a fosszilis tüzelők elégetése útján és a nukleáris úton nyert energia összegének. Jelenleg ez az energia a tengerfenéken, illetve annak közelében szabadul fel, ami hatalmas tömegű tengervizet áramoltat az óceáni kérgen keresztül. E cirkuláció terméke a forró (akár 400°C-os) és savas hidrotermális folyadék, amely fémeket szállít és olyan felbomlott gázokkal telített, mint a metán vagy a hidrogén-szulfid. Ha ezek a tengerfenékre jutnak, a forró, fémekkel teli folyadék és az azt körülvevő hideg tengervíz közötti reakciók a fémszulfidok kicsapódásához vezet. Ilyen reakció hozta létre a Föld legnagyobb érctelepeit.

Egy forró, szulfidokkal és fémekkel teli folyadékról egyáltalán nem gondolnánk, hogy ott virágzó életkörülmények lennének. Határozottan kijelenthető azonban, hogy a mélytengeri biomassza-koncentráció éppen a hasadékoknak a környékén a legnagyobb. A hidrotermális hasadékokban élő állatok nagyon idegenek számunkra, pl. óriási férgek, amelyeknek nincs belük, és a szöveteikben élő baktériumok segítségével táplálkoznak. Ezek cserébe hasznosítják az energiát az egyébként mérgező kémiai anyagból, a hidrogén-szulfidból. Az efféle hasadéklakó állatok sokasága sok újat mond arról, hogy az ilyen dinamikus és igencsak ellenséges környezetben hogyan lehet túlélésre (esetenként virágzó életre) berendezkedni. Sőt, a hidrotermális résekben talált mikrobák ennél is szélsőséesebb körülmények között élnek. Még csak most kezdjük felfedezni a tengerben és tenger fölött élő rovarokban működő metabolikus „ösvények” (biokémiai reakcióláncok) hatalmas sokszínűségét. Azt már tudjuk, hogy egyes rovarok képesek sokkal nagyobb hőmérsékleten élni, mint amelyet akármelyik másik földi életforma képes elviselni. Sok tudós pedig gyakorlatilag azt a nézetet vallja, hogy az élet a Földön éppen ilyen helyeken alakult ki.

Az óceánközepi hátságok a vulkáni működés és a földrengések szempontjából egyaránt a Föld legaktívabb helyeinek számítanak. A tenger alatti vulkánosság, a földrengések és az óceán mélyének fizikai állapotváltozásai közötti kölcsönhatások hosszú távú megfigyelése e különleges természeti laboratóriumban végezhető. A legutóbbi tanulmányok kimutatták, hogy az óceáni eltolódásos („transzform”) vetők mentén (a szétterülő hátságok peremén) kipattanó közepes földrengéseknek sokkal több előregése és sokkal kevesebb utóregése van, mint a kontinenseken kipattanó földrengéseknek. Úgy tűnik továbbá, hogy a tengerfenéki vulkánok közelében a szeizmikus tevékenységet az óceáni árapály pattantja ki („triggereli”). A Föld burkának („litoszférájának”) és az óceánközepi hátság vulkanikus-tektonikus rendszerének

kölcsönhatásairól szerzett új ismeretek jelentősen lendíthetnek a szárazföldi vulkán- és földrengésveszély kutatásán és az előrejelzésen.

Az óceáni hátságok vulkanikus, tektonikus és hidrotermális folyamatai befolyásolják az óceáni litoszféra (az óceán aljzatát alkotó kőzetek) kémiai felépítését és a hatalmas kiterjedésű mélységbeli síkságokat. A gyorsan szétterülő hátságok alatt (mint amilyen a Csendes óceán keleti hátsága) viszonylag állandó magmalencse látható, amely kőzetolvadék-utánpótlást biztosít a viszonylag gyakori magma-benyomuláshoz és a következményként fellépő tengeraljzati kitörésekhez. A magmalencse szolgáltatja azt a hőt is, amely a forró vizes (hidrotermális) cirkulációt az óceáni kéregben meghajtja.

A lassan és a nagyon lassan mozgó hátságokon – mint a Közép-Atlanti hátság és a Jeges-tenger alatt húzódó Gakkel-hátság – a magmás események jóval ritkábbak. A tengerfenék szétterjedésének legjellemzőbb összetevője itt a litoszféra vetődés által okozott tektonikus terjeszkedése („extenziója”). Az óceánközepi hátságokon lejátszódó magmás-tektonikus eseményciklusok vezérlésének megismerésében még csak a kezdeteknél tartunk.

A Föld köpenyéből az óceánaljzat felé irányuló hőáram az óceánközepi hátságokon és forró pontoknál (mint például Izland, az Azori-szigetek és a Galapagosz-szigetek) a legnagyobb. Az efféle forró pontok az óceánaljzatot megemelik, sőt akár a felszínre is kiemelhetik. (A két szembetűnőbb példát a Közép-Atlanti-hátságnál Izland, a Csendes-óceáni medencében a Hawaii szigetek szolgáltatják.) Vastagabb lesz itt az óceáni kéreg, megváltozik a tengeraljzati vulkanizmus formája és intenzitása, továbbá módosulhat a tengerfenéki szétterülési központ geometriája is.

Amikor egy forró pont kölcsönhatásba kerül egy óceánközepi hátság szétterjedési központjával, az óceánfenékre (és a forrópont-szigetre) kifolyó láva szintén fontos ismereteket nyújt a Föld köpenyének kémiai összetételéről. Még nem tudjuk, hogy az óceáni medencékben található forró pontok zöme rendelkezik-e mély (a köpenybe mélyen lenyúló) gyökérrel, vagy csak a felsőköpenyből származnak-e. Az óceánközepi hátságokon és forró pontokon végzendő jövőbeni kutatások fogják megválaszolni ezeket a kérdéseket, más hasonló alapkérdésekkel egyetemben.

## **Milyen földi folyamatok hatnak a kontinentális szegélyek kialakulására és fejlődésére, továbbá milyen előnyöket és fenyegetéseket jelentenek a kontinentális szegélyek az emberiségre?**

A kontinentális szegély viszonylag meredek lejtői (amelyek függőleges irányban a néhány km-t is elérik) hatással vannak az óceáni áramlatokra. A part mentén fújó szelek – a Coriolis-féle eltérítő erő hatására – adott esetben a parttól elhajthatják a felszínen lévő tengervizet, és ennek helyébe ilyenkor a mélyből feláramlik a tápanyagdús mélyvíz, és ez igen jelentős mértékben járul hozzá a partmenti zóna biológiai produktivitásához.

A kontinensek üledékforrásoknak is tekinthetők, ugyanis a folyók, és különböző emberi tevékenységek révén jelentős mennyiségű üledék kerül az óceán partmenti zónájába. A kontinentális peremen felhalmozódó, szerves szénben gazdag üledékek (különösen, ha több km vastagok) fontos nyersanyagok (például szénhidrogén és gázhidrát) és különféle biológiai közösségek keletkezési- és tárolóhelyei. A kontinentális peremek üledékei sokfelé magukon viselik a múltbéli klímaváltozások nyomait.

A kontinentális peremek ugyanakkor veszélyt is jelentenek az emberre. A kontinentális lejtőkön felhalmozódott üledékrétegek lecsúszása akár cunamik keletkezését is kiválthatja, ami a távoli

partvidékeken élő életközösségek pusztulását is előidézheti. Megfordítva: akárhol is keletkezett a cunamihullám, jelentőségét a partközeli tengerfenék topográfiája határozza meg. Ez dönti el, hogy okoz-e katasztrófális károkat a szárazföldön. Jelenleg még kevésbé világos, hogy a globális felmelegedés által előidézett fokozatos tengerszint-emelkedésnek milyen lehetséges destabilizáló hatásai vannak. Az aktív hasadékokkal vagy alábukási zónákkal határos szegélyek szeizmikus katasztrófák, vagy tenger- illetve felszín alatti vulkánkitörések színhelyei lehetnek.

A kontinentális peremeket a szárazföld felől érkező folyók és emberi tevékenység szennyezi. A szennyeződés ipari, kereskedelmi és szabadidős tevékenység hatására keletkezik, és fizikai-kémiai-biológiai folyamatok révén halmozódik fel a kontinentális szegélyeken. A peremek a tengerészeti partvédelemben is szerepet játszanak (főképp a víz alatti hangjelzések terén), továbbá a halászatban, a szénhidrogén-kutatásban és a biztonságos hajózásban is.

A fentebb említett ismeretek a hasadt (és hasadó) szegélyek, továbbá az alábukásos peremek alakulásával együtt járó geológiai folyamatok megértésén alapulnak.

Valószínű, hogy hasadékos peremeken a szegélyek fejlődését elsősorban az eredeti kontinentális litoszféra-lemez fizikai-kémiai jellegzetességei: a hasadásra adott választ kialakító alakváltozási és áramlási jellemzői határozzák meg. Amennyiben előrejelzési modelleket kívánunk készíteni a riftesedésre és a kontinens-felhasadásra vonatkozóan, ismernünk kell a riftesedés alatt létrejövő litoszféra-megnyúlás nagyságát, a litoszféra legfelső, merev részén kialakuló fő vetődések formáját és eloszlását, a sók és magmajelenségek kiterjedését, valamint a süllyedés történetét.

Alábukásos (szubdukciós) zónákban a konvergens (összetorlódó) szegélyek alakját és fejlődését erősen befolyásolja az óceánból érkező üledék sorsa (vagy ledörzsölődnek és felhalmozódnak a szemközti feltolódásos – ún. „obdukciós” – lemezen vagy egyszerűen alábuknak). Meg kell értenünk az alábukás sebessége és szöge, az óceáni kéreg hőmérséklete, a folyadékok és a pórusnyomás, a vetők, szeizmicitás és vulkánosság, ill. az asztenoszféra (a földköpeny képlékeny, litoszféra alatti rétegébe) lesüllyedő litoszféra-lemezek sorsának sokféle méretben és időközben megnyilvánuló szerepét is.

A kontinentális szegélyekkel kapcsolatban a megoldandó tudományos problémák meglehetősen sokfélék, de mindegyiknek van hatása az emberi szükségletekre és tevékenységekre, illetve a környezetre. Ezek a következő fejezetekre oszthatók:

- Mélyszerkezet
- Üledékek
- Nyersanyagok és folyadékok
- Veszélyforrások
- Adatgyűjtés
- Technológiai előrehaladás

## **A hasadékos szegélyek mélyszerkezete**

A hasadékos szegélyekkel kapcsolatos legfontosabb feladat ma az, hogy a litoszféra szegélykialakulás alatti fejlődésére elvi és numerikus modelleket készítsünk. E feladat az óceáni kéreg üledékei alatt lévő különféle közettípusokról, azok mechanikus és fizikai tulajdonságairól, korokról és beágyazódásuk történetéről, továbbá nyújtásra (tágulásra) adott merev vagy képlékeny reagálásukról igényel információt. Ideális esetben – hogy teljes képet kaphassunk – a peremeket a hasadék (rift) mindkét oldalán ugyanazokkal az eszközökkel kell vizsgálnunk, egy közös szelvényvonal mentén. A vizsgálatok alapvető eszköze egyrészt az üledékbe és az alapkőzetbe behatoló mélyfúrás (beleértve a fűrőfolyadékos fúrást), másrészt a szeizmika (beleértve a 3D-s

felméréseket); de egyéb technikák (részben az új fejlesztésűek, mint a tengerfenéken vagy ahhoz közel végzett geoelektromos-elektromágneses vagy más geofizikai mérések) is alkalmazásra kerülhetnek.

## **Az alábukási (szubdukciós) zónák és az üledékek mélyszerkezete**

Egy erősen nyomásos szegélyen az üledékek felhalmozódási története csak kevésbé meghatározó az üledék sorsának alakulása szempontjából, a dinamikus alábukási (szubdukciós) folyamatban mégis gyakran együtt tárgyalják a mélyebb kéreggel és a földköpennyel.

A lefelé mozgó lemezeket kísérő nagy földrengések jelentik az óceáni lemezek alábukási folyamatra adott rövid periódusidejű válaszát. Az elmozdulás évenként néhány cm. Szeizmikus és más geofizikai paraméterek felhasználásával háromdimenziós képet kell alkotnunk a földrengést előidéző zónákról, hogy feltérképezhessük a lemezek a tektonikus folyamatokra adott válaszát. A földrengést előidéző (szeizmogén) zóna megfúrása és az ott elhelyezett különböző érzékelők mellett a leképezés is rendkívül fontos.

A Globális Helymeghatározó Rendszer (GPS) megjelenése alapjaiban változtatta meg a geodéziát. Most már állandóan megfigyelhetjük („monitorozhatjuk”) a szárazföld deformációit. Ugyanezt szeretnénk elérni a tengerfenéken is. A kezdeti kísérletek igazolták az elképzelés megvalósíthatóságát. Ki kell terjesztenünk ezt a technikát az egész tengerre, hogy mérhessük a Föld most végbemenő deformációját. Ha a tudósok mérni tudják a deformációk pontos nagyságát és a földrengés szeizmikus energiájának hirtelen felszabadulását, kibocsátódását, ez elvezethet a szigetívek fejlődésének, a vulkanizmusnak és a veszélycsökkentésnek a jobb megértéséhez.

Az alábukás (szubdukció) felfogható egy globális körfolyamat részeként: hívják „alábukás-gyárnak” is. Jó lenne megérteni az egész Föld anyagkörfolyamatát. A kis mélységekben pl. a gázhidrát fejlődésével kapcsolatos szén-körforgalom ismerete közelebb vinne a globális szén-ciklus megértéséhez. A nagyobb mélységekben pedig a litoszféra behatolásának hatásai (például az alábukó szerpentinitesedett óceáni kéreg lehetséges következményei, illetve a lemezközépi magmatizmus termékei) még nem teljesen tisztázottak.

## **A hasadékszegély üledékei**

A part közelében és attól távolabb elhelyezkedő üledékek tükrözik a hasadékos peremek extenziós, eróziós és lerakódási történetét csak úgy, mint felemelkedésüket és alábukásukat. Nem feltétlenül szükséges az üledékeket a szegélyek szemben lévő párjain vizsgálni, de a riftesedéssel egyidejűleg (syn-rift) utána lezajlott (post-rift) üledékfelhalmozódási történet teljes megértése geológiai térképezést és mintavételezést kíván a szárazföldön és a tengeren egyaránt: sűrű szeizmikus méréseket (nem csak vonalmentieket, hanem területieket is) és mintavételt (fűrőmagmintákat is), hogy nagy üledékfelhalmozódási sorozatok és a jelentős hullámvisszaverő felületek nagy távolságokon át követhetők legyenek.

Az üledékek egykori mélységét meghatározó módszereket is fejlesztik. A modern üledékes rendszerek tanulmányozása hanglokátoros és a többsugaras mélységméréseket és fűrőmagokat is igényel.

## **Nyersanyagforrások és folyadékok**

A hasadékperemeken az ásványi nyersanyagok közül elsősorban szénhidrogén (kőolaj és földgáz) található. Gázhidrát a hasadékos és a nyomásos peremeken is fellelhető. A szénhidrogénkutatás és

a potenciális anyaközetek értékelése szempontjából a hőtörténet megismerése talán a legfontosabb tényezőt jelenti. A hőtörténet megbecsülhető a magmatizmus területi kiterjedéséből és térfogatából, az üledékek vastagságából és korából, ill. a jelenkori hőáramból. A gázhidrát nagy mennyiségben fordul elő. Potenciális energiaforrásként tartjuk számon, de nyomban hozzá kell tennünk, hogy a metán tengerfenékről történő biztonságos és gazdaságos kitermelésének módszere még nem ismert, így e kérdésben további kutatásra van szükség.

Tengeraljzati folyadékszivárgást a hasadt és az összenyomódott szegélyek mentén is megfigyeltek. Az ilyen folyadékok a környezet hőmérsékletén szabadulnak fel, és ezért „hideg szivárgásnak” is nevezik. Hideg szivárgásokat a legkülönbözőbb helyeken találtak, mint pl. kanyonfalakon, aktív kontinentális szegélyeken, mészkőtelepekben és szénhidrogéntelepek fölött. Különböző baktériumfajok élnek ebben a környezetben, mint ahogyan olyan állati közösségek is előfordulnak, amelyek a tengerfenékről származó, kémiai anyagokban gazdag, lebontott folyadékokból eredő energiát hasznosítják. Még csak most kezdjük kapisgálni az itt élő állatok és mikrobák sokszínűségét és a különleges metabolizmusokhoz kapcsolódó lehetséges biotechnológiai alkalmazásokat. A hideg szivárgások létezését akusztikus vizsgálatok is bizonyítják. A peremeken lévő folyadékok kémiájának és áramlásának valószínűleg van köze az alatta elhelyezkedő üledékek diagenéziséhez. Ezek a kutatási területek mindenképp új ötleteket és megközelítést kívánnak.

## **Veszélyforrások**

A szeizmikus- és vulkáni katasztrófa-előrejelzés problémája nem csak az alábukási zónák térségében, de sok más egyéb helyen is jelen van.

A cunamiveszély a partmenti térségekben különleges feladatokkal jár. A cunamiveszély csökkentése az instabil üledékrétegek ismeretét és a kritikus régiók részletes mélységi és topográfiai elemzését igényli. Fontos eszköz a maximális károkozás helyének előrejelzésében a cunami-terjedés és -felfutás numerikus modellezése. Úgy tűnik, hogy a klímaváltozás okozta emelkedő tengerszint és az áradások a következő évtizedekben a part menti régiókban tömeges elvándorlást eredményeznek. Az új tengerparti települések hely kiválasztásához a cunami-veszélyről is alapos információkkal kell rendelkezünk.

## **Adatgyűjtés**

Az ENSZ tengerjogi egyezménye (UNCLOS) felhatalmazza a part menti államokat, hogy a nemzetközi egyezményben leírtaknak megfelelően jogot formáljanak a partjaiktól távol eső tengerfenékre. Hogy ezt érvényesítsék, számos ország nagy mennyiségű adatfeldolgozást végzett és különleges méréseket végzett a sávos tengermélység- és egyéb információkra vonatkozóan. Amíg néhány állam bizalmasan kívánja kezelni ezeket, mások nyitottabbak. Néhány adatbázist már nyilvánossá is tettek. Mi egy olyan adatközpont kialakítását javasoljuk, ahol összegyűjtik és egyesítik a sávos tengermélység-adatokat, továbbá egyéb, a világ kontinentális szegélyeiről származó információkat, ami ezáltal a tengertudományokat és a mérnöki tervezést szolgálja.

## **Előrelépés a technológiában és a műszerezettségben**

Az óceáni hátságokon és a kontinentális peremeken zajló vulkáni, tektonikus és hidrotermális aktivitás felfedezését hatékonyan népszerűsíteni kell, ezzel párhuzamosan folytatni szükséges a mélytengeri kutatási technológiák és eszközök fejlesztését, amelyek egy része a társadalom számára közvetlen technológiai előnyt fog jelenni.

Néhány példa az új technológiák sorából: ember-vezette járművek (HOV, amelyek az óceán nagy mélységeibe képesek merülni), a távirányítható járművek (ROV), az önjáró víz alatti járművek (AUV), és újfajta mélytengeri szeizmikus, geofizikai, akusztikus, hidrotermális, kémiai és biológiai mérőberendezések. Az új technológia a folyamatos idejű tengerfenéki méréseket (a tengerfenéki obszervatóriumokat), az obszervatóriumok hagyományos és száloptikai mélytengeri kábelekkel történő energiaellátását és az adatok szárazföldi laboratóriumokba történő átvitelét is jelenti, sőt az Integrált Óceánfúrési Program (IODP) révén az óceánközepi hátságokon az óceáni kéregbe és a kontinensperemek mélyébe hatoló tudományos fúrásokat is magában foglalja.

Szerzők: J. Chen, C. Devey, C. Fischer, J. Lin, B. Whitmarsh

Fordították: a NYME hallgatói

Lektorálták: Czelnai Rudolf, Szarka László, Verő József