

Duboko ispod valovite površine Tihog oceana, u Marijanskoj brazdi, nalazi se mjesto zvano Challenger Deep. To je najdublja točka Tihog oceana, ujedno i najdublja na svijetu. Otkrivena je 1872. godine, a zaronivši batiskafom Trieste 23. siječnja 1960. prvi su je dosegli Švicarac Jacques Piccard i Amerikanac Don Walsh. Poznato je da je duboka oko 11 kilometara, no točna dubina pouzdano se ne zna jer ju je nemoguće sasvim precizno izmjeriti

Tekst dr. Tihomir Marjanac

Davne 1960. godine odvažni istraživači Jacques Piccard i Don Walsh upustili su se u jedinstven pothvat - zaroniti do dna najdubljeg oceana. Jednog siječanjskog dana zaronili su batiskafom Trieste u duboko plavetnilo Tihog oceana. Nije to bila slučajna odluka, niti ih je na taj pothvat natjerala nevolja. Taj uron, poput mnogih prethodnih, bio je dio istraživačkog projekta Nekton koji je tih godina provodila mornarica Sjedinjenih Američkih Država.

Jacques Piccard bio je odvažan sin jednako odvažnog oca. Naime, njegov otac Auguste Piccard bio je švicarski fizičar koji se zanimao za fiziku atmosfere pa je konstruirao balon kojim je poletio u stratosferu, mjereći pritom brzinu vjetrova, tlak zraka i temperaturu. On je davne 1931. godine dostigao visinu od 15.785 m, a nekoliko godina kasnije dignuo se do visine od čak 23.000 metara. Nakon istraživanja atmosfere zainteresirao se za ronjenje i istraživanje morskih dubina pa je već 1937. godine konstruirao ronilicu za velike dubine, nazvanu batiskaf, ali je Drugi svjetski rat prekinuo njezinu izradu.

Prvi batiskaf Piccard je počeo graditi u Belgiji 1946., a dovršio ga je 1948. godine. Nazvao ga je FNRS-2 po belgijskom Nacionalnom fondu za znanstvena istraživanja (Fonds National de la Recherche Scientifique) koji je financirao gradnju. Kako je za istraživanje ponestalo novca, batiskaf je prodan Francuskoj mornarici koja ga je prekrstila u FNRS-3. Na temelju tih prvih iskustava, otac i sin Piccard su 1952. godine konstruirali novi batiskaf koji su sagradili u Italiji, uz

Marijanska brazda

najdublje mjesto na zemlji



BATISKAF TRIESTE Prilikom prvog urona na dno Marijanske brazde Piccardu i Walshu glavni je problem predstavljala velika hladnoća jer je na dnu oceana temperatura bila oko 2 °C



novčanu potporu mnogih ustanova, tvornica i pojedinaca iz Trsta pa je 1953. porinut i nazvan Trieste. Već 1954. godine Auguste Piccard je u Sredozemlju njime zaronio do dubine od 4000 metara. Batiskaf tijekom ronjenja nije bio vezan za matični brod poput ronilačkih zvana koja su se do tada koristila za istraživanje, nego se slobodno kretao, iako vrlo sporo, pogonjen električnim motorima.

Gradnja batiskafa je tada, prije 50 godina bila ravna današnjoj gradnji svemirskog broda. Trebalo je svladati mnoge tehnološke probleme, počev od čvrstine oplata, čvrstine stakla za prozor, izdržljivosti električnih baterija i još mnogo usputnih problema koji su se javljali tijekom gradnje.

Uspješne zarone batiskafa zapazila je američka mornarica koja ga je otkupila već 1957. godine. Oca, koji je tada već imao 73 godine, u istraživanjima je naslijedio njegov sin Jacques, koji je s batiskafom Trieste provodio oceanološka istraživanja za potrebe američke mornarice. Tijekom 64. urona 23. siječ-

nja 1960. u 13 sati i 6 minuta Trieste je dostigao najdublju točku na dnu Tihog oceana u Marijanskoj brazdi. Izmjerena dubina iznosila je 11.524 m, no kasnije je ispravljena na 10.916 m.

Na dnu su Piccard i Walsh vidjeli ribe (nalik na iverak ili list) i rakove, što ih je iznenadilo jer se tada pretpostavljalo da na tako velikim dubinama nema života. Tlak je bio veći od 1000 atmosfera, odnosno 1,17 tona/cm², ili 108,6 megapaskala.

Od tada toliko duboko više nikada nitko nije zaronio. Današnje istraživačke ronilice s ljudskom posadom mogu doseći dubine do najviše 6000 metara, a jedina robotska ronilica koja je mogla dostići dubine veće od 10.000 metara i 1995. je zaronila do dna Marijanske brazde, Japanska Kaiko, nažalost je izgubljena u olujnome moru.

Iako je Jacques Piccard zaronio na dno Marijanske brazde, on ipak nije njezin otkrivač. Najdublje mjesto u Marijanskoj brazdi otkrio je britanski istraživački brod Challenger 1875. godine kada je izmje-

rio dubinu od 8184 m. To najdublje mjesto je po brodu nazvano Challenger Deep. Točniju dubinu od 10.900 m izmjerio je 1951. godine britanski istraživački brod Challenger II ultrazvučnim dubinomjermom (u ono vrijeme prilično primitivnim). Ruski istraživački brod Vityaz je 1957. godine izmjerio dubinu od 11.034 m, ali su kasnija istraživanja izmjerila manju dubinu. Tako je 1962. godine brod Spencer izmjerio dubinu od 10.915 m, a 1984. je japanski istraživački brod Takuyo izmjerio 10.924 m. Točnu dubinu od

10.911 m na tom je mjestu 24. ožujka 1995. godine izmjerila robotska ronilica Kaiko koja se spustila na dno i tu ostavila zastavicu sa svojim imenom. Američki oceanografski institut Woods Hole planira ponovni uron do dna Marijanske brazde pomoću svoje robotske ronilice Ne-reus već krajem ove godine.

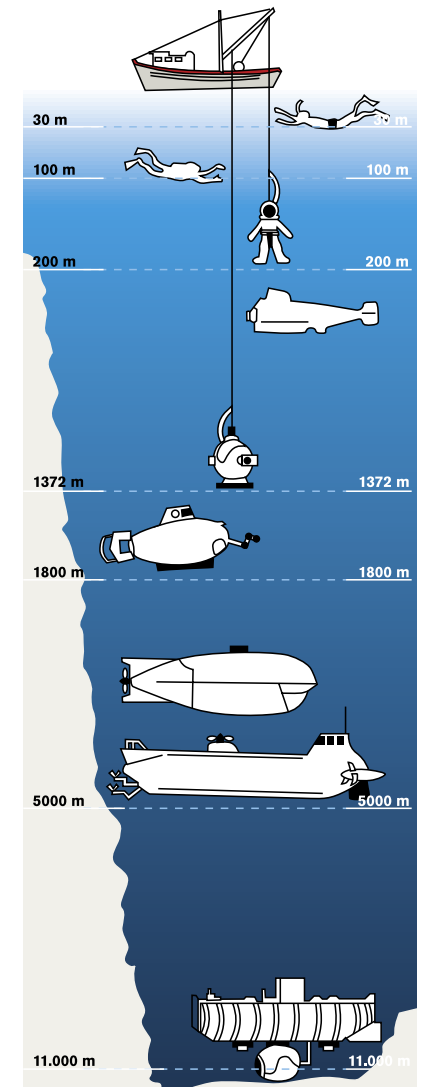
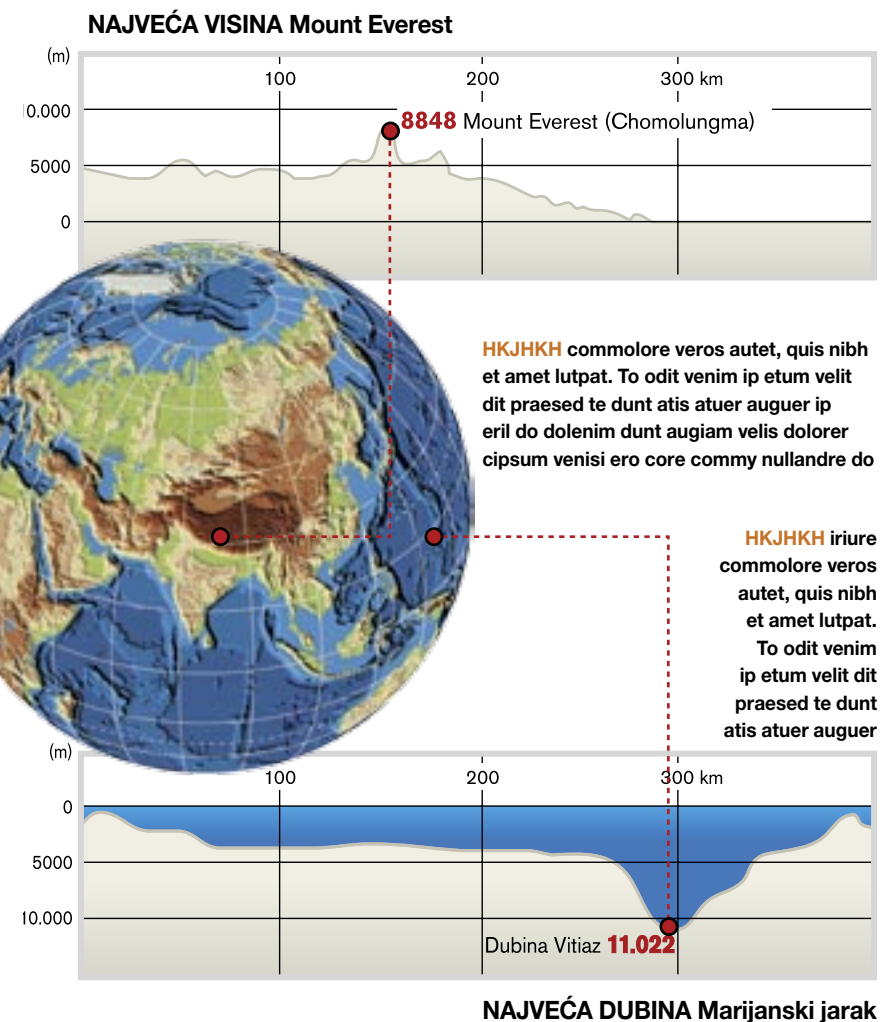
Najdublje pacifičko dno

Marijanska brazda je najdublja podmorska dolina na Zemlji, često nazivana i jarkom, a nalazi se na zapadnoj strani Tihog oceana, pri-

bližno 400 km jugoistočno od otoka Guam. Proteže se od sjevera prema jugu i nastavlja se na Izu-Bonin brazdu na sjeveru i Yap brazdu na jugu. Nazvana je po Marijanskom otočju koje se nalazi stotinjak kilometara zapadno. Sama Marijanska brazda je duga 2542 km, a široka 69 km. Zapravo je to približno 5000 m duboka podmorska dolina u oceanskom dnu prosječne dubine 5500 m (što zbrojeno daje dubinu od 10.500 metara).

Na mnogim ilustracijama Marijanska brazda prikazuje se kao ka-

Desetljeća nakon Drugog svjetskog rata bila su istraživački vrlo plodna. Godine 1953. osvojen je Mont Everest, 1960. dno Tihog oceana, a 1969. ljudi su stigli na Mjesec



njon gotovo vertikalnih zidova, što ne odgovara istini. Širina brazde je gotovo 70 kilometara i u odnosu na okolno dno oceana dublja je približno 5 kilometara, što znači da je 14 puta šira nego što je duboka! Kanjonski izgled Marijanske brazde posljedica je prikaza njezina reljefa u povećanom vertikalnom mjerilu, koje je na slici povećano čak 100 puta.

Podmorje oceana je relativno slabo poznato. Topografija dna istraživala se u prošlosti spuštanjem utega na užetu i mjerenjem dosegnute dubine. Tek je u vrijeme Drugoga svjetskog rata razvijena tehnika akustičnog mjerenja dubine uređajem koji je prvo bio poznat pod nazivom eho-lot, a kasnije sonar. Ta nova tehnika mjerenja dubine zasnivala se na mjerenju vremena koje je potrebno zvuku da se odbije od dna i dođe do broda. Naime, predajnik pričvršćen na trup broda emitirao je prema dnu zvučni signal koji se nakon refleksije od dna vratio prema brodu kao jeka s dna. Iz vremena »kašnjenja« jeke izračunavala se dubina mora. U početku se vrijeme »kašnjenja« mjerilo ručno, pa su i pogreške bile velike. I danas se dubina mora mjeri na istovjetni način, ali s mnogo većom točnošću zahvaljujući računalnoj tehnologiji.

Posljednjih desetljeća dubina mora mjeri se posrednim metodama i iz satelita. Ovdje se u stvari mjeri visina satelita od vodene površine, koja nije ravna nego s manjom amplitudom prati reljef dna. To znači da je morska površina iznad oceanskih brazda spuštana, a iznad oceanskih hrptova ispupčena. Detaljnim satelitskim snimanjem površine oceana proizvedena je karta koja prilično vjerno pokazuje topografiju oceanskog dna.

Ipak, oceanske dubine još su slabo istražene i nerijetko se ističe da o površini Marsa znamo više nego o oceanskom dnu na Zemlji.

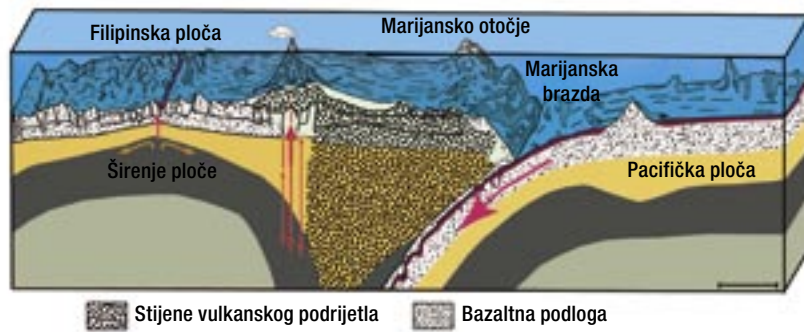
To ilustrira i nesreća američke nuklearne podmornice San Francisco koja je u siječnju 2005. pri ronjenju na dubini od oko 200 metara u punoj brzini udarila u podmorsko uzvišenje (podmorski vulkan?) 560 km južno od otoka Guama. Tom je prilikom podmornica pretrpjela velika oštećenja, jedan mornar je poginuo, a 23 su ozlijeđena. U tom području pomorske karte pokazuju dubinu mora od 5500 do 8200 m pa je neoznačeno podmorsko uzvišenje visoko oko 5300 metara.

Što se to zbiva na dnu oceana?

Postanak ove goleme podmorske doline posljedica je kretanja litosfernih ploča. Površinu Zemlje tvori 20 većih i manjih ploča. Neke litosferne ploče obuhvaćaju kontinent i

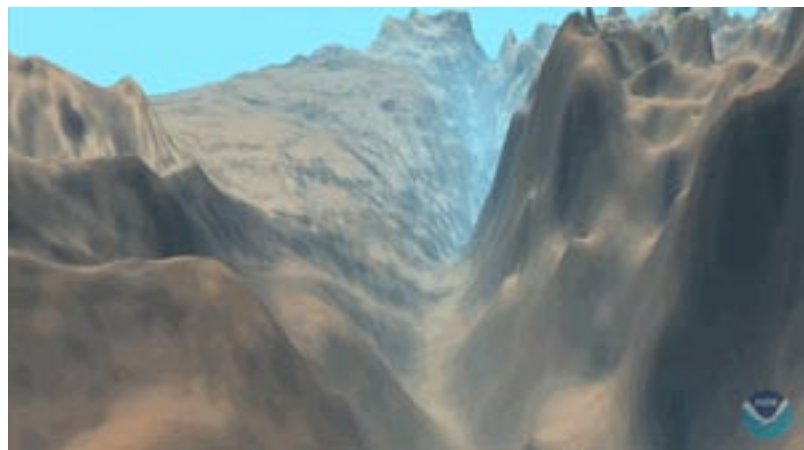
pridruženi dio oceana (npr. Afrička ploča), a neke samo ocean (npr. Pacifička ploča). Na području Tihog oceana nalazimo više ploča: na istoku se nalaze male ploče Juan de Fuca, Cocos i Nasca, na jugu je velika Antarktička ploča, na jugozapadu je Australijska ploča, na zapadu su Filipinska i velika Euroazijska ploča, a na sjeveru i mjestimično na istoku nalazi se velika Sjevernoamerička ploča.

Litosferne se ploče kreću brzinom od prosječno 5 centimetara na godinu. Na nekim se mjestima ploče razmiču, kao na primjer u sredini Atlantskog oceana, gdje je od podmorskih izljeva lave nastao oceanski hrbat, a sličnih ima i u drugim oceanima. Zanimljivo je da se oceanski hrbat nalazi relativ-



FILIPINSKA I PACIFIČKA PLOČA Na Filipinskoj ploči nalazi se oceanski hrbat, a u Marijanskoj brazdi Pacifička ploča tone pod Filipinsku

JESU LI STRME PODMORSKE LITICE? Marijanska brazda, prikazana na profilu kojem su osi jednake izgledala bi kao plitka dolina, no kad se vertikalno mjerilo uveća u odnosu na horizontalno, dobiva se sasvim drugačiji dojam dubine



PACIFIČKE TEKTONSKE PLOČE

Razmicanjem tektonskih ploča Tihi se ocean stalno pomalo širi i produbljuje. Marijanska brazda nalazi se na mjestu gdje se Pacifička ploča podvlači pod Filipinsku ploču

Zašto ploče putuju?

Na mjestu podvlačenja, jedna ploča postupno nestaje. Stijene koje je čine tonu u Zemljin plašt gdje se tale, a na površinu dopijeva lava po čijem kemijskom sastavu znamo da je nastala od podvučene ploče i magme iz plašta. Na taj način Zemlja postupno uništava dijelove svoje kore jednako kao što stvara novu na mjestima razmicanja ploča. Kako se litosferne ploče polako kreću, tako na njima »putuju« i njihovi otoci, pa i cijeli kontinenti. Neki su, poput Indije, prešli dugačak put od južne polutke, preko ekvatora do sjeverne polutke. Indija se naposljetku sudarila s Azijom pri čemu je nastala Himalaja!

Koja je to golema sila što pomiče cijele kontinente? Njemački meteorolog Alfred Wegener već je početkom 20. stoljeća tvrdio da se kontinenti kreću. Mnogi su u to doba uočavali sukladnost oblika Afrike i Južne Amerike, ali svejedno Wegeneru nisu vjerovali. Wegener se trudio dokazati kretanje i u tome je uspio prikupivši brojne geološke dokaze, ali nije mogao objasniti što kontinente pokreće. U to doba znanstvenici nisu dobro poznavali procese koji se zbivaju u unutrašnjosti Zemlje pa je Wegeneru bilo teško pronaći dovoljno snažnu silu koja će pokretati cijele kontinente, i to stotinama milijuna godina.

Danas znamo da je sila koja je dovoljno snažna da pomiče litosferne ploče posljedica strujanja magme u Zemljinu plaštu. To strujanje magme posljedica je izmjene toplin. Naime, magma se u plaštu zagrijava na kontaktu s usijanom Ze-

Podmorje Tihog oceana najslabije je istražen dio našeg planeta, pa nije pretjerano reći da površinu Marsa poznajemo bolje nego dno najvećeg svjetskog oceana

no blizu Marijanske brazde, na Filipinskoj ploči. Na nekim se mjestima ploče sudaraju pa jedna od njih, koja je teža, potone pod drugu (lakšu). Na mjestima sudara oceanskih dijelova ploča nastaje oceanska brazda koja se proteže uzduž kontakta ploča koje su se sudarile. Taj se proces zove subdukcija ili podvlačenje. Marijanska brazda tako je nastala podvlačenjem Pacifičke ploče pod Filipinsku.

Podvlačenje je dugotrajan proces koji može trajati milijunima godina, i za to vrijeme podvučena ploča tone u dubinu Zemljina plašta gdje vladaju vrlo visoke temperature i tlakovi. Kako tone, tako se ploča postupno lomi i tali. Lomljenje potonule ploče zabilježit će seizmografi kao potrese s vrlo dubokim žarištem (hipocentrom), a nje-

zinim taljenjem nastaje nova magma. Ta se novonastala magma miješa s magmom koja tvori Zemljin plašt i prodire prema morskoj površini duž dubokih pukotina koje presjecaju Zemljinu koru. Na mnogo mjesta magma doseže i morsko dno gdje se izljevaju i stvaraju podmorske vulkane. Ti vulkani rastu prema površini jer iz dubine stalno prodire nova magma pa stvaraju podmorska uzdignuća (»sea mount«) koja naposljetku narastu do površine mora i postaju vulkanski otoci. U zapadnom dijelu Tihog oceana ima mnogo skupina vulkanskih otoka, kao što su Filipini, Marijanski otoci i Japansko otočje, koji su nastali kao posljedica podvlačenja (subdukcije) oceanskih dijelova ploča, a nazivaju se »otočnim lukovima«.

mljinom jezgrom, a hladi se u kontaktu s hladnom korom. Vruća se magma na nekim mjestima sporo podiže prema gore, doseže koru i tu se postupno hladi. Ohlađena, magma postaje teža i počinje tonuti natrag prema jezgri. To kružno kretanje tople pa ohlađene magme naziva se konvekcija ili konvekcijsko strujanje. Isti proces možemo kod kuće vidjeti ako pažljivo promotrimo kretanje vode koju zagrijavamo na peći; u posudi se voda kreće od zagrijanog dna prema površini gdje se hladi, a ohlađena se spušta prema dnu gdje se ponovno zagrijava i diže prema površini.

Konvekcijske struje vrše jak pritisak koji se prenosi na Zemljinu koru i pokreće kretanje litosfernih ploča. Uzlazni tok magme vrši pritisak na Zemljinu koru i razmiče ploče, a kroz nastalu pukotinu prema površini prodire magma koja se hladi i stvara nove stijene, novu koru. Na mjestima silaznog toka ohlađena i otežala magma tone prema jezgri i za sobom povlači koru što dovodi do podvlačenja jedne ploče pod drugu. To potvrđuje da je Zemlja geološki živi planet, i jedan je od razloga zašto se na Zemljinoj površini vidi vrlo malo stijena iz njezine najdavnije prošlosti.

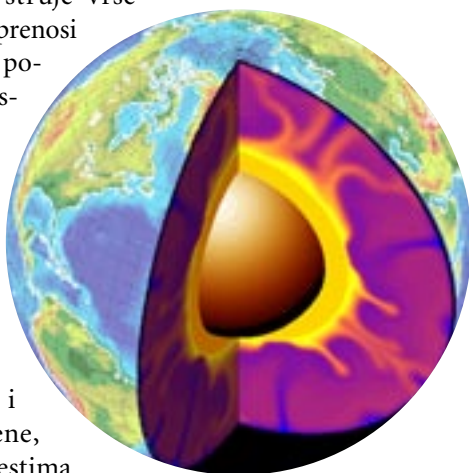
Put u središte Zemlje?

Može li se ući u Zemljin plašt negdje na Marijanskoj brazdi? Može, ali samo u nekom neznatnom filmu. Zemljin plašt i procese u njegovoj unutrašnjosti danas istražujemo geokemijskim metodama koje daju odgovor na pitanja o porijeklu magme i minerala u njoj i geofizičkim metodama koje nam daju podatke o fizičkom stanju tvari u tim

dubinama, o temperaturi i gustoći magme. Vrlo vrijedne spoznaje o fizici Zemljina plašta, koje su potvrdile pretpostavke o procesima u plaštu, pruža relativno nova geofizička metoda koja se naziva seizmička tomografija. Danas na tomo-

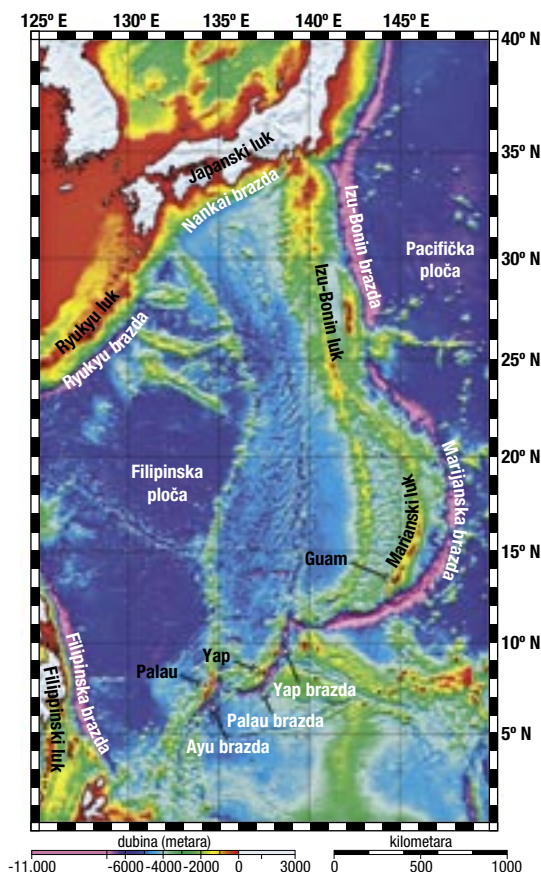
istražen dio našeg planeta. Istraživači oceanolozi već desetljećima predano istražuju njegove tajne - temperaturu, struje, sedimente dna, akustična svojstva, tektoniku, ali smo još vrlo daleko od količine spoznaja koja bi bila uspore-

Jules Verne maštao je o putovanju u središte Zemlje i o ronjenju podmornicom mnogo prije nego što se moglo naslutiti da bi se to moglo ostvariti. Od njegovih romana do putovanja podmornicom prema točki najbližoj središtu Zemlje nije prošlo ni stotinu godina



U DUBINI ZEMLJE Tople boje na slici (crvena i žuta) simboliziraju topliju magmu, a hladna (plava) ohlađenu magmu

OTOČNI LUK Usporedno s Marijanskom brazdom proteže se Marijanski otočni luk koji tvore brojni aktivni vulkani



grafskim »slikama« vidimo podvlačenje ploča, lomove potonulih blokova, njihovo pretaljanje i uzdizanje vruće magme. Do prije nekoliko desetljeća mogli smo o tome samo sanjati.

Duboko plavetnilo Tihog oceana još će dugo ostati najslabije

diva s poznavanjem kopna. Oceanске dubine staništa su još mnogih neotkrivenih i slabo poznatih organizama, kriju vrijedne rude i predstavljaju »inkubator« hrane o kojoj ovisi opstanak gotovo polovice čovječanstva u idućim stoljećima i milenijima. **M**