

OCEANOGRAFIJA, multidisciplinarna znanost koja se bavi proučavanjem svjetskog mora. U širem značenju, to je kompleksna znanost koja se temelji na spoznajama hidrofizike, hidrokemije, geologije, hidrologije i dr. Služi se također općom i analitičkom kemijom pri ispitivanju sastava morske vode, kemijskih procesa u moru i sadržaja plinova u morskoj vodi; geodezijom i kartografijom za prikaz reljefa morskog dna i izradbu karata morskih struja, temperaturu, slanosti i drugih fizikalno-kemijskih svojstava vodenih masa; fizikom i matematikom pri traženju što jednostavnijih zakona i matematičkih rješenja o strujanju, valovima, morskim mijenjama i dr.; pomorskom geofizikom za proučavanje gravitacijskih, magnetskih i električnih pojava i svojstava svjetskog mora; hidroakustikom za proučavanje širenja zvuka kroz morskú vodu; navigacijom pri određivanju položaja istraženih i izmjerjenih podataka; hidrografijom radi podataka o reljefu obale i morskog dna.

Oceanografija se obilato služi spoznajama drugih znanosti, pa se prema srodnosti razvrstava na pet glavnih grana: fizikalnu, kemijsku, meteorološku, geološku i biološku oceanografiju.

Fizikalna oceanografija opisuje fizikalna stanja mora i promjene tih stanja s obzirom na vrijeme i prostor, te proučava fizikalne procese u moru i određuje njihova stanja. Djelomično je i grana fizičke geografije jer opisuje raspodjelu vodenih masa, uvjete pod kojima se te mase formiraju, i utjecaj strujnog sustava svjetskog mora na stvaranje vodenih masa različitih fizikalnih svojstava. Za razliku od fizičke geografije, proučava i objašnjava uzroke kretanja vodenih masa, energiju u moru, interakciju i različite oblike širenja i prenošenja energije svjetskog mora.

Kemijska oceanografija pomoći kemijskim metoda, zakona i principa rješava probleme opće oceanografije. Proučava kemijski sastav morske vode, kemijske procese, raspodjelu konstituenata u morskoj vodi (s obzirom na vrijeme i prostor) i važnost kemijskih svojstava morske vode s obzirom na biološke, fizikalne i geokemijske procese koji su stalno prisutni u morskoj sredini. Kemijskim analizama određuje se sadržaj hranljivih soli (dušika, silicija, fosfora i dr.), alkaliniteta, otopljenih plinova (kisika i ugljik-dioksida), što omogućuje analizu starosti, porijekla i kretanja vodenih masa i njihov utjecaj na život u moru. Kemijske analize sadržaja teških metala, organskih i neorganskih tvari, te već spomenute analize bitni su pokazatelji stupnja onečišćenja mora.

Meteorološka oceanografija proučava interakciju mora i zraka (hidrosfere i atmosfere). Rezultati tih proučavanja važni su u svim oceanografskim analizama i studijama.

Osobito je važan utjecaj stalnih vjetrova na stvaranje strujnih tokova te pojava *upwellinga* (konvekcija dubljih i pridnenih vodenih masa u površinske slojeve, jer se time prenose hranljive soli iz pridnenih u površinske slojeve, što je bitno za procese bioprodukcije).

Proučavanje procesa izmjene toplinske energije zrak—more važno je za toplinsku bilancu mora, što služi u meteorologiji za klimatološke analize, a osobito za hidrometeorološke prognoze (v. *Meteorologija*, TE 8, str. 452). Istodobno s oceanografskim mjerjenjima mjere se i osmatraju hidrometeorološki parametri: temperatura zraka, smjer i brzina vjetra, tlak zraka, rod, vrsta i količina naoblake, itd. Izmjereni i osmotreni podaci primjenjuju se u svim oceanografskim analizama.

Biološka oceanografija proučava biljni i životinjski svijet u moru. Ta proučavanja obuhvaćaju tri osnovne grupe: *bentos* – životinjski svijet na morskom dnu, *nekton* – životinjski svijet koji se aktivno kreće u moru, i *plankton* (fitoplankton i zooplankton) – sitni živi organizmi koji lebde u moru.

Geološka oceanografija proučava geologiju morskog dna. Do sada je proučavan geološki sastav recentnog nanosa dna i konfiguracija morskog dna, a u posljednje vrijeme razvijaju se istraživanja zaliha sirovina i izvora energije koji se nalaze ispod morskog dna, kao što su nafta, plin i druga prirodna bogatstva.

Oceanografska istraživanja. U početku je oceanografija služila samo potrebama plovidbe i iskorišćivanju prirodnih bogatstava svjetskog mora, u prvom redu riba. Na osnovi podataka o morskim strujama, valovima, morskim mijenjama i drugim oceanografskim elementima pomorci su odabirali povoljnije plovidbene putove i osiguravali plovidbu i boravak u luci. Za ribolovstvo je veoma važno da se znade slanost i temperatura mora te sadržaj hranljivih soli na pojedinim područjima, jer su to indikatori ribljeg bogatstva.

Oceanografski elementi mora veoma su važni za hidrotehničku gradnju i za projektiranje brodova, a potrebe čovjekstva traže sve veće iskorišćivanje mora i podmora kao izvora hrane i energije. To postavlja pred oceanografiju nove zadatke kao što su: razvoj ekonomičnih procesa desalinacije morske vode da bi se osigurale zalihe slatke vode; upoznavanje biljnog i životinjskog svijeta u moru da bi se more što racionalnije iskorišćivalo kao izvor hrane; traženje i iskorišćivanje podmorskih izvora energije i nalazišta rudnog blaga; bolje poznavanje fizikalnih, kemijskih, bioloških, morfoloških i geoloških svojstava podvodnog svijeta, u prvom redu radi podvodne plovidbe i upotrebe oceanografskih sredstava; iskorišćivanje energetskih potencijala morske vodene mase (morskih struja, morskih valova i toplinske energije), praćenje kvalitete morske vode i zaštita mora od onečišćenja, itd.

Oceanografska istraživanja mogu se razvrstati u tri faze: prikupljanje podataka i materijala na moru (*motrenje*); laboratorijski rad (*analiza*) i zaključivanje na temelju dobivenih rezultata (*sinteza*). Sintezom se dobivaju elementi za izradbu preglednih karata i tablica koje služe različitim znanostima, npr. meteorologiji, geologiji, biologiji, navigaciji, hidrotehnicici, a pojavljuje pojedinim granama pomorstva. Oceanografske karte

struja, izoterma, izohalina (krivulje koje spajaju točke iste slanosti mora), izopikna (krivulje koje spajaju točke iste gustoće mora) te batimetrijske, litološke i druge karte olakšavaju rješavanje mnogih zadataka. U trećoj fazi oceanografskog istraživanja nastoji se iz opsežnih podataka stvoriti takve zaključke kojima će se protumačiti sve pojave, provjeravati ih i po mogućnosti predvidjeti.

Posljednjih godina prošireno je istraživanje mora i utemeljeno je mnogo novih oceanografskih znanstvenih ustanova, pa je i oceanografija postigla velik napredak. Uz opisno geografsko promatranje činjenica, sve se više razvijaju metode kvantitativnog istraživanja, a time se i moderna oceanografija postupno odvaja od geografije i sve više postaje dio geofizike.

S obzirom na opseg proučavanja, oceanografija se razvrstava na opću i regionalnu. Opća oceanografija proučava svjetsko more kao cjelinu, a regionalna pojedine regije svjetskog mora, npr. područje pasata, monsuna, ekvatorskih tišina, zapadnih vjetrova, polarnih regija, nekih strujnih tokova, Sredozemno more, Jadransko more i sl.

U usporedbi s drugim znanostima, oceanografija je u nepovoljnijem položaju zato što se većinom istražuju pojave koje se ne vide, jer su duboko pod morem i nepristupačne. Noviji pokušaji da se oceanograf spusti u morske dubine batisferom ili batiskafom, ili da se posluži podvodnom televizijom, ma koliko oni bili važni, ipak nisu riješili mnoge probleme, pa oceanograf i dalje mora istraživati nevidljive elemente specijalnim spravama. Stoga je i razvitak oceanografije u posljednjih sto godina u uskoj vezi s usavršavanjem i razvojem oceanografske mjerne tehnike. Oceanografski instrumenti za mjerjenje in situ i za zahvaćanje morske vode i sedimenata morskog dna iz velikih dubina zahtijevaju poseban pribor, a s tim u vezi i osobitu oceanografsku opremu, pa prema tome i posebne oceanografske brodove i brodske laboratorije. U posljednje vrijeme upotreba meteoroloških satelita i automatskih oceanografskih stanica predstavlja znatan napredak.

Oceanografska mjerjenja obuhvaćaju uglavnom mjerjenja morskih valova, morskih dubina, temperature i slanosti morske vode, morskih struja, sadržaja lebdećih tvari u morskoj vodi i sadržaja otopljenih tvari. Tome treba dodati i astronomска, terestrička ili elektronska mjerjenja da bi se odredila pozicija broda, jer je bez točne lokacije svako mjerjenje gotovo nekorisno. Za svako od tih mjerjenja služe posebni oceanografski instrumenti i pomoći pribor (motovila, dizalice i dr.).

Za motrenje valova morskih mijena upotrebljavaju se vodometne letve i mareografi. Valovi nastali djelovanjem vjetra motre se električnim, akustičnim, optičkim ili mehaničkim spravama, a mjeri se visina, perioda, duljina, brzina te smjer translacije valova.

Dubine mora mjeri se direktnom ili indirektnom metodom. Direktno se mjeri male dubine ručnim dubinomjerom ili dubinomernim strojem, a veće dubinomjerima na odjek. Indirektno se dubina mjeri na sljedeće načine: izmjerom hidrostatskog tlaka (kao u Thomsonovu dubinomjeru), termometrijskom metodom (iz temperaturne razlike koju pokazuje zaštićeni i nezaštićeni termometar) i zvukom ili ultrazvukom (mjerjenjem vremena potrebnog da zvuk, odnosno ultrazvuk, stigne do morskog dna i da se odjek vrati od dna do broda).

Temperatura mora i promjena temperature (kroz određeno vrijeme) mjeri se na površini i u različitim dubinama, da bi se dobila vertikalna podjela temperature od površine do dna u različitim dubinama. Površinska se temperatura mjeri termometrom s posebnom izoliranim posudom za živu. Umjesto da se termometar spusti u more, može se morska voda s površine zahvatiti kablicom. Za vrijeme plovidbe može se temperatura mjeriti termometrom na usisnoj cijevi kondenzatora u strojarnici. Na novijim brodovima temperatura mora mjeri se električnim termometrom koji ima termoelement ugrađen u pramac broda, a pokazivač temperature u brodskoj centrali. Temperature u različitim dubinama mjeri se najčešće specijalnim, tzv. prekretnim termometrima. U posljednje vrijeme mnogo se upotrebljavaju termistori, odnosno batitermografi koji neprekidno registriraju vrijednosti temperature na različitim dubinama. Batitermograf registrira neprekinitu termobatičnu krivulju od površine mora do dubine mjerena.

Gustoća morske vode mjeri se s dosta teškoća, jer se zahvaljujući veoma velika točnost. Direktne metode (hidrostatsko vaganje morske vode, određivanje gustoće piknometrom ili specijalnim areometrima) ne mogu se upotrijebiti na brodu. Gustoća se indirektno mjeri optički: refraktometrom (jer se svjetlost lomi različito u vodi različite gustoće), ili interferometrom kojim se određuje razlika loma svjetlosti u morskoj i čistoj vodi (mjerjenje indeksa refrakcije). Budući da je gustoća morske vode funkcija slanosti, temperature i tlaka, ona se može odrediti ako su poznata ta tri podatka. Takvo je određivanje najpraktičnije za kontinuirano mjerjenje i najviše se upotrebljava u brodskim laboratorijima.

Mjerenje morskih struja spada u važnije oceanografske rade. *Indirektnim* se metodama morske struje mogu odrediti proračunom tlaka (pada morske razine), ili na temelju raspodjele hidrografske faktora, u prvom redu temperature i slanosti. *Direktnim* se metodama smjer i brzina morske struje određuju motrenjem zanošenja (struje drifta) različitih plutajućih predmeta (boca, leda, plovca ili brodova), mjerjenjem pomoću strujomjera te geomagnetskim elektrokinetografom. Umjetni sateliti trajno prikupljaju podatke o površinskim morskim strujama i emitiraju ih sabiralištima na tlu.

Sadržaj tvari organskog i anorganskog podrijetla što lebde u moru mjeri se direktno filtriranjem uzorka vode, vaganjem filtrata i mikroskopskom analizom. Sadržaj lebdećih tvari indirektno se mjeri apsorpcijom, ili raspršivanjem svjetlosti ili refleksijom zvuka.

Sadržaj otopljenih tvari određuje se mjerom analizom i kolorimetrijski. Međutim, u brodskim laboratorijima mogu se upotrebljavati samo one metode koje ne zahtijevaju osjetljive sprave i pribor. Mjerom analizom ispituje se obično otopljeni kisik i alkalitet (CaCO_3), a kolorimetrijskom metodom uspoređuje se sadržaj fosfata, nitrata, amonijaka, silikata, pH morske vode s indikatorskom otopinom, puferom i dr.

Geografski položaj točaka mjerjenja određuje se metodama terestričke, astronomске ili elektroničke navigacije, prema prilikama i području istraživanja. Ako taj položaj treba odrediti veoma točno, npr. pri izmjeri podmorskog kanjona, moraju se postavljati na kopnu specijalni privremeni elektronički uređaji za preciznije određivanje pozicija mjerjenja.

Oceanografska istraživanja obavljaju se najčešće na krstarenjima i oceanografskim ekspedicijama na specijalnim znanstvenoistraživačkim brodovima. Međutim, za oceanografska mjerjenja i motrenja upotrebljavaju se i obični ribarski, stražarski i peljarski brodovi, brodovi svjetionici, pa i važniji svjetionici gdje čuvati također obavljaju meteorološka motrenja. Neprekidna oceanografska motrenja obavljaju i meteorološki brodovi—stanice (*Ocean Station Vessel*), na oceanskim postajama, ledolomci i brodovi Međunarodne patrole leda (*International Ice Patrol*). Trgovački i ratni brodovi, kao pokretne sinoptičke stanice s dobrovoljno organiziranom meteorološkom službom, mnogo doprinose istraživanju oceana. Sustavnom istraživanju oceana mnogo doprinose meteorološki sateliti i automatske oceanske stanice.

Razvoj oceanografije. Oceanografija je postala zasebna znanstvena disciplina i dobila sadašnji naziv sredinom XIX st. Međutim, prve spoznaje s područja oceanografije potječu još iz najstarijih vremena kad su prvi moreplovci počeli otkrivati osnovne činjenice o morskim mijenama, morskim strujama, astronomskoj navigaciji itd., a ribari stečeli prva iskustva o životinjskom svijetu u moru. Tokom vremena povećavano je znanje o moru i prirodnim pojavama vezanim za more, ali sva starija otkrića, bilo prirodnih zakona koji upravljaju pojavama u moru, bilo fizikalnih i geografskih činjenica o moru i oceanima, bila su sporedan ili slučajan rezultat različitih ljudskih aktivnosti ili znanstvenih istraživanja kojima proučavanje mora nije bio jedini cilj. Tako, npr., od XVI do XIX st. poduzimana su velika pomorska putovanja da se otkriju i osvoje novi prekomorski teritoriji i da se pronađu najbolji pomorski putovi iz Evrope za jugoistočnu Aziju i obje Amerike, a kao usputni rezultat stecene su nove spoznaje o morskim strujama, morskom ledu i sezonskim vjetrovima, sakupljeni su podaci o veličini i horizontalnoj razvedenosti oceana, točnije je određen geografski položaj obala na dalekim kontinentima i otocima, itd. Prirodni zakoni, koje su u XVII i XVIII st. otkrili I. Newton, R. Boyle, A. L. Lavoisier i drugi, objasnili su i neke od fizikalnih i kemijskih pojava u moru. U prvoj polovici XIX st. istaknuti prirodoslovci, kao npr. C. G. Ehrenberg, A. von Humboldt, W. J. Hooker i Ch. Darwin, bavili su se, uz ostalo, florom i faunom mora, morskim sedimentom itd., ali i ti su znanstvenici još uvjek proučavali pojave u moru u području biologije, kemije ili fizike, a ne oceanografije.

Sredinom XIX st. nekoliko se znanstvenika posvetilo samo proučavanju mora kao zasebnoj znanstvenoj disciplini koja je dobila ime oceanografija. E. Forbes (1815—1854) prvi je dao shemu vertikalne i horizontalne raspodjele života u moru. Nastavljajući radove B. Franklina o fizici mora, M. F. Maury (1806—1873) objavio je opsežne računske analize vjetrova i morskih struja, a njegova se knjiga *Physical geography of the sea* (1855) smatra prvim priručnikom s područja oceanografije. J. D. Dana (1813—1895) istraživao je floru i faunu Sredozemnog mora te obradio materijal što ga je 1837. do 1842. sakupila američka ekspedicija na Tihom oceanu. Ch. W. Thomson (1830—1882) proučavao je životinjski svijet na većim morskim dubinama, pa je sa W. B. Carpenterom organizirao dvije manje oceanografske ekspedicije i ustanovio da i na velikim morskim dubinama postoji intenzivan život i da temperature morske vode na velikoj dubini nisu konstantne.

Početak nove epohe u povijesti oceanografije označila je prva velika, posve znanstvena, oceanografska ekspedicija brodom *Challenger*, koja je bila organizirana pod pokroviteljstvom Britanskog admiraliteta i Kraljevskog društva (Royal Society). Pod stručnim vodstvom Ch. W. Thomsona ekspedicija *Challenger* oplovila je Zemljinu kuglu za tri i pol godine (prosinac 1872 — svibanj 1876) i postigla izvanredan znanstveni uspjeh. Sakupljeno je toliko podataka i uzoraka da je na njihovu obradbu osnovan poseban znanstveni institut koji je trebao skoro 20 godina za analizu i sintezu sakupljenog materijala, a rezultati su objavljeni u 50 svezaka velikog formata.

Ekspedicija *Challenger* mnogo je doprinijela boljem fizičkom, kemijskom i geološkom poznavanju svjetskog mora, postavši oceanografski rad na znanstvene osnove. Ta je ekspedicija potakla i ostale pomorske zemlje da organiziraju slične potvrdne koje su se na približno sličan način obavljali do početka prvoga svjetskog rata. Njemačke ekspedicije brodovima *Valdivia* (1898—1899) i *Planet* (1906—1908, 1911—1913) obavili su brojna mjerena morskih dubina, ispitivanja fizičkih i kemijskih svojstava morske vode, biološka i meteorološka motrenja na Tihom i Indijskom oceanu. Norvežani su s ledolomcem *Fram* organizirali dvije arktičke ekspedicije, i to 1893—1896 pod vodstvom F. Nansena i 1898—1902 pod vodstvom O. Sverdrupa, te antarktičku ekspediciju 1910—1912 pod vodstvom R. Amundsena. Boljem poznavanju geografije Antarktika doprinijela je engleska ekspedicija brodom *Discovery* (1901—1904) pod vodstvom R. F. Scotta. Ruski admiral S. O. Makarov vodio je oceanografsku i hidrografsку ekspediciju koja je 1894—1895 brodom *Vityaz* oplovila svijet. Šest austrogarskih ekspedicija brodom *Pola* u razdoblju 1890—1896 mjerile su u Sredozemnom i Crvenom moru dubine mora, morske struje, te kemijska i fizička svojstva morske vode. Sjevernoamerička ekspedicija brodom *Albatross* (1899—1900) pod vodstvom A. Agassiza, osim mjerena morskih dubina i hidrografskega radova, obavila je i biološka istraživanja uz istočne obale Sjeverne i Južne Amerike. Nizozemska ekspedicija, brod *Siboga* (1899—1900), snimala je topografiju morskog dna, proučavala sediment i obavljala biološka i zoogeografska zapažanja na istočnom Indijskom oceanu. Veliki doprinos istraživanju Sredozemnog mora i sjeveroistočnog Atlantika dao je princ Albert I od Monaka, koji je od 1885. do 1915. vodio oko 25 krstarenja jahtama *Hironelle I* i *II* te *Princesse Alice I* i *II* i sakupio obilan materijal, uglavnom o biologiji mora. Osim tih velikih oceanografskih ekspedicija, organizirano je još više manjih, i sve su one mnogo doprinijele novim spoznajama o moru i potakle mnoga teorijska pitanja u oceanografiji. Proučavanjem mora počeli su se baviti istraživači različitih specijalnosti: fizičari, kemičari, biolozi, meteorolozi, geolozi itd., pa je oceanografija od deskriptivne postala analitička znanost.

U razdoblju od 1860. do 1914. god. u svim su vodećim pomorskim zemljama osnovane znanstvene ustanove za istraživanje mora. Zahvaljujući radu tih institucija razvijena je osnovna oprema i merna tehnika za oceanografska istraživanja, usavršeni su analitički postupci za određivanje sastojaka morske vode i razjašnjeni su osnovni fizički i kemijski mehanizmi pojave u moru. Praksa je pokazala da je u oceanografskim istraživanjima prijeko potrebna međunarodna suradnja i koordinacija rada, pa oceanografski instituti skandinavskih zemalja i Njemačke osnivaju 1901. god. *Međunarodni savjet za istraživanje mora*, a 1909. god. u Monacu je osnovan *Međunarodni hidrografska biro*.

Razdoblje između dva svjetska rata obilježeno je razvojem oceanografske mjerne tehnike i opreme, a za oceanografska istraživanja počinju se graditi specijalni brodovi. Pronalazak ultrazvučnog dubinomjera i dubinskog grabila omogućio je da se bolje upozna reljef i sastav morskog dna; neposrednim mjerjenjem morskih struja dobio se uvid u dinamiku oceana; pomoću Nansenovih boca s prekrenitim dubinskim termometrima određeni su elementi za izučavanje termohalinskih odnosa; započelo je istraživanje biomase (primarne producije), itd. Od brojnih oceanografskih ekspedicija u tom razdoblju najvažnije su bile: danska ekspedicija oko svijeta brodom *Dana* (1921—1932), britanske antarktičke ekspedicije brodovima *Discovery* (1925—1926), *Discovery II* (1930—1935) i *W. Scoresby* (1926—1932), njemačke ekspedicije brodom *Meteor*, koje su istraživale Atlantski ocean (1925—1927, 1929—1930, 1937—1938), nizozemska ekspedicija na Tih i Indijski ocean brodom *Willem B. Snellius* (1929—1930), sovjetska arktička ekspedicija brodom *Sedov* (1938—1940) i američke ekspedicije na Tih ocean brodovima *Carnegie* (1928—1929) i *Catalyst* (1932—1936).

Tokom drugoga svjetskog rata većinu mjerena i zapažanja na oceanima obavljale su ratne mornarice zaraćenih strana, jer su za pomorske ratne operacije bili potrebeni pouzdani oceanografski, hidrografske i meteorološki podaci.

Po svršetku rata sve su vodeće pomorske zemlje nastavile intenzivna oceanografska istraživanja, a uspostavljena je i uska međunarodna suradnja na tom području. Razvoj mjerne tehnike, a osobito elektronike, omogućio je da oceanografska istraživanja postanu raznovrsnija te da obuhvate i najveće morske dubine. Veliki doprinos napretku suvremene oceanografije dala je Međunarodna geofizička godina 1957—1958, kad su zajedničkim naporima mnogih pomorskih zemalja obavljena oceanografska mjerena na svim oceanima.

Za međunarodni program dubokomorskih bušenja (*Deep Sea Drilling Project*), koji je započeo 1964. god., izgrađen je u SAD istraživački brod *Glomar Challenger*. Taj je brod bio opremljen bušaćim uređajima za rad na morskim dubinama do ~7300 m, dubina bušotina iznosila je do 760 m, a

izvadene jerge bile su duge ~9 m. Elektronički uređaj za dinamičko sidrenje (pozicioniranje) mogao je, pri vjetru brzine 40 čvorova i valovima visine 4 m, zadržati brod iznad bušotine unutar kruga s promjerom od 30 m. U razdoblju 1968—1972. *Glomar Challenger* izbušio je ~400 bušotina u podmorju svjetskog mora. Te dubokomorske bušotine mnogo su doprinijele poznавanju sedimenata i stijena oceanskog dijela Zemljine kore, a proučavanjem mikrofosila u izvadenim uzorcima saznalo se o razvoju života u moru i o rasprostranjenosti mora u prošlosti.

Međunarodni desetogodišnji program oceanskog istraživanja (*International Decade of Ocean Exploration*) obuhvaća istraživanje stanja vodenih masa mora i faktora koji onečišćuju more i morski okoliš, klasifikaciju vodenih masa mora s geokemijskog, odnosno oceanografskog gledišta, istraživanje izvora života u moru i faktora koji upravljaju razvojem i rasprostranjenosti flore i faune u morima, određivanje vrste mineralnih sirovina i njihovih nalazišta u morima itd. S obzirom na dobro organiziranu međunarodnu suradnju i primjenu najsvremenijih istraživačkih sredstava očekuje se da će rezultati tog projekta značiti dalji napredak oceanografske znanosti u istraživanju svjetskog mora.

Razvoj oceanografije na Jadranu. U našim krajevima prvi važniji pisani radovi s područja oceanografije potječu iz razdoblja XVI—XVIII st. To su bile teorijske rasprave o morskim mijenjama, koje su objavili Zadrani F. Grisogono (1472 ili 1473—1538), Rabljani Markanton De Dominicis (1560—1624), Dubrovčani N. Sagroević (? — 1573) i Ruder Bošković (1711—1787).

Hidrografsko-oceanografska izmjera Jadranu počinje za vrijeme francuske okupacije Dalmacije (1806—1809). Prva službena karta Jadranskog mora tiskana je 1822. god. u Trstu, a 1830. god. izdan je prvi *Peljar Jadranskog mora*. Prvi hidrografska zavod na Jadranu osnovala je 1860. god. Austrija u Trstu, a 1862. god. filijalu tog zavoda u Puli i srodne institucije u Rijeci i Veneciji, što je predstavljalo temelj hidrografsko-oceanografske službe na Jadranu.

Do početka prvoga svjetskog rata osnovano je nekoliko znanstvenih i kulturnih institucija koje su se bavile i proučavanjem Jadranskog mora, kao npr. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti u Zagrebu (1866), Jadranska komisija pri Bečkoj akademiji nauka (1867), Pomorska biološka ustanova u Rovinju (1891) i dr., a organizirano je i više istraživačkih krstarenja po Jadranu.

Oceanografski radovi na našoj obali Jadranskog mora nastavljeni su poslije prvoga svjetskog rata. Godine 1922. osnovan je u Tivtu *Hidrografski ured*, koji je 1923. prešao u Dubrovnik, a 1929. u Split. Taj je ured 1937. god. preimenovan u *Hidrografski institut ratne mornarice*. U Splitu je 1931. god. osnovan *Biološko-oceanografski institut*, koji danas nosi naziv *Institut za oceanografiju i ribarstvo*. Okupacija naše zemlje 1941. god. prekinula je rad tih institucija, ali već da vrijeme Narodno-oslobodilačkog rata osniva se na oslobođenom teritoriju *Kartografski ured* u Hvaru (1943) i *Meteorološka stanica na Visu* (1944), a oslobođenjem Splita u rujnu 1944. god. *Hidrografski institut ratne mornarice* ponovno počinje svoju djelatnost.

Danas u našoj zemlji sljedeće institucije obavljaju oceanografske radove i istraživanja: *Hidrografski institut ratne mornarice*, Split; *Institut za oceanografiju i ribarstvo*, Split; *Morska biološka postaja Piran* u sastavu Biološkog instituta Univerza Edvarda Kardeša, Ljubljana; *Centar za istraživanje mora* u Zagrebu i Rovinju u sastavu Instituta Ruder Bošković, Zagreb; *Zavod za biologiju mora*, Dubrovnik; *Zavod za biologiju i oceanografiju*, Kotor; *Biološki institut prirodonovjano-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu*; *Zavod za geološka istraživanja*, Zagreb; *Centar za ribu i prirodu Mediterana*, Zadar; *Prirodoslovni muzej*, Rijeka; *Institut za pomorsku medicinu*, Split; *Pomorski meteorološki centar*, Split; *Poljoprivredni institut Zavoda za sumpotropske kulture i zaštitu od zagadenja*, Bar.

OPREMA I INSTRUMENTI ZA OCEANOGRAFSKA MJERENJA

Fizičkalna i kemijska svojstva mora, dinamičko i biološko stanje mora, geološki sastav morskog dna, meteorološki parametri nad morem itd. mjere se i istražuju uređajima i instrumentima koji moraju zadovoljiti više posebnih uvjeta. Instrumenti treba da imaju visoku mernu osjetljivost da bi mogli izmjeriti i neznatne promjene pojedinih svojstava mora, treba da budu otporni prema koroziji i tako čvrsti da podnesu visoke tlakove na velikim morskim dubinama i da se s njima može raditi i u nepovoljnim uvjetima, kao npr. kad se brod ljuži na valovima. Rukovanje instrumentima mora biti jednostavno, a njihova konstrukcija takva da se eventualni kvarovi mogu lako popraviti. Izvori energije za napajanje instrumenata trebaju omogućiti što veću autonomnost i dugotrajnost mjerjenja.

Da bi se zadovoljili svi ti uvjeti, oceanografski instrumenti, uređaji i oprema izrađuju se od visokokvalitetnih materijala, primjenjujući najnovija dostignuća znanosti, tehnike i tehnologije. Razvitkom tehnike, a posebno elektronike, rješeni su mnogi problemi za izradbu, primjenu i tehniku mjerjenja oceanografskim instrumentima. Obradba i interpretacija izmjerjenih oceanografskih podataka obavlja se skoro samo pomoću elektroničkih računala, a izmjereni se podaci automatski prenose do centra za obradbu pomoću radija i različitih satelitskih sustava.

Oprema za oceanografska mjerjenja

Za oceanografska motrenja, istraživanja i mjerjenja služe oceanografski istraživački brodovi, usidrene automatske oceanografske

OCEANOGRAFIJA

grafske plutače, podvodni laboratorijski istraživački podmornice i batiskafi, platforme za podmorsko bušenje, avioni, helikopteri i sateliti.

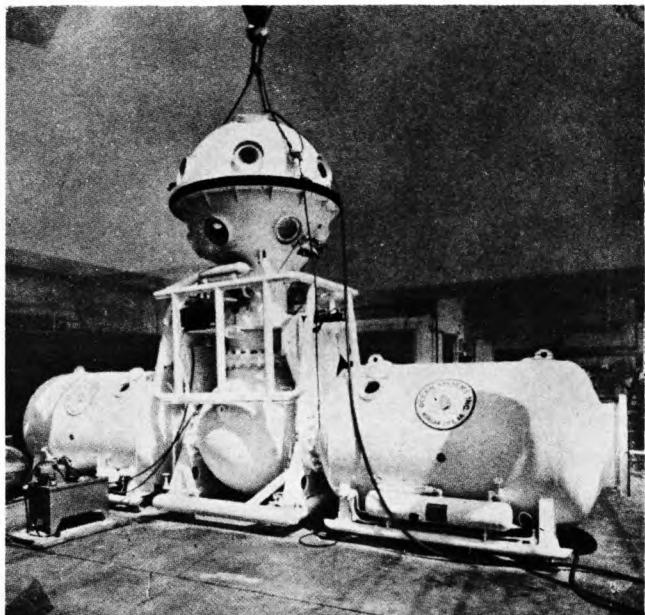
Oceanografski istraživački brodovi (v. *Brodovi, specijalni*, TE 2, str. 451) najvažniji su za mjerjenje i istraživanje mora. Suvremeni oceanografski brodovi imaju uređaje za spuštanje, tegljenje i posluživanje različitih teških, oceanografskih istraživačkih instrumenata i podvodnih laboratorijskih opreme za sidrenje i dizanje automatskih plutača, te elektroničke uređaje za obradbu podataka i sl.

Brodske laboratorijske vožnjice su dio opreme brodova za oceanografska istraživanja. Broj i veličina laboratorijskih vožnjica ovise o veličini broda, te o zadatku i trajanju ekspedicije. Redovito postoje dva laboratorijska i to oceanografski i kemijski za analizu morske vode izvađene crpcima sa različitim dubinama. Tome u posljednje vrijeme treba dodati i treći laboratorijski, oceanografsku centralu, gdje su smješteni svi uređaji za registriranje mjernih podataka na papirne ili magnetske vrpce. Ako se na brodu obavljaju istodobno i biološka istraživanja, treba predvidjeti posebne laboratorijske i prilično opsežan poseban pribor, a ako se obavljaju i geološka istraživanja (mjerjenje debeline nanosa seizmičkim postupcima ili specijalnim cijevima za bušenje u morskem dnu), potreban je još jedan laboratorijski skladiste.

Usidrene automatske oceanografske plutače (sl. 1) sve se više upotrebljavaju jer su ekonomične, nezavisne, omogućuju dugotrajna mjerjenja, istodobno se mjeri mnogo različitih oceanografskih i meteoroloških parametara, a podaci se radiom šalju u sabirališta za obradbu. Prema namjeni upotrebljavaju se različite vrste i veličine plutača. Plutače mogu biti nadvodne ili podvodne, a usidrene su čeličnim užetom i sidrom, ili sidrenim blokom. Na čeličnom su užetu postavljeni različiti oceanografski instrumenti na različitim dubinama. Oceanografske plutače koje služe samo za nošenje oceanografskih instrumenata opremljene su jarbolom sa svjetлом i radarskim reflektrom da bi se plutača lakše pronašla pomoću radara. Podvodne plutače opremljene su posebnim akustičkim uređajem koji, na signal s broda, preko hidrofona oslobađa plutaču od sidra pa ona ispliva na površinu. Plutače većih dimenzija nose na sebi i komplet meteoroloških instrumenata i radio-uređaj za emitiranje izmjenjenih podataka. U unutrašnjosti tijela plutače smješten je izvor

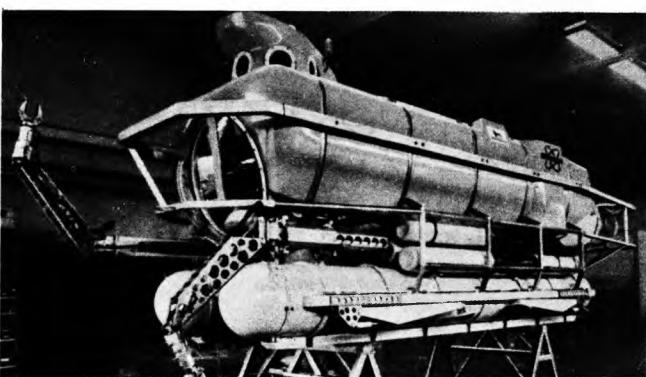
energije za napajanje radio-uređaja i instrumenata. Takve usidrene plutače mogu biti i laboratorijski sa skupom znanstvenika koji obavljaju različita mjerjenja (sl. 2).

Podvodni laboratorijski postavljeni na morsko dno služe za različita istraživanja i rade na morskom dnu. Zrak za podvodni laboratorijski postavljaju posebni uređaji koji su nezavisni ili su vezani za kopno ili brod. Podvodni laboratorijski postavljaju se na dnu, a ronici mogu izlaziti i obavljati rade na morskom dnu. Na sl. 3 prikazan je podvodni laboratorijski postav Sealab III, koji je ujedno i baza za ronioce.

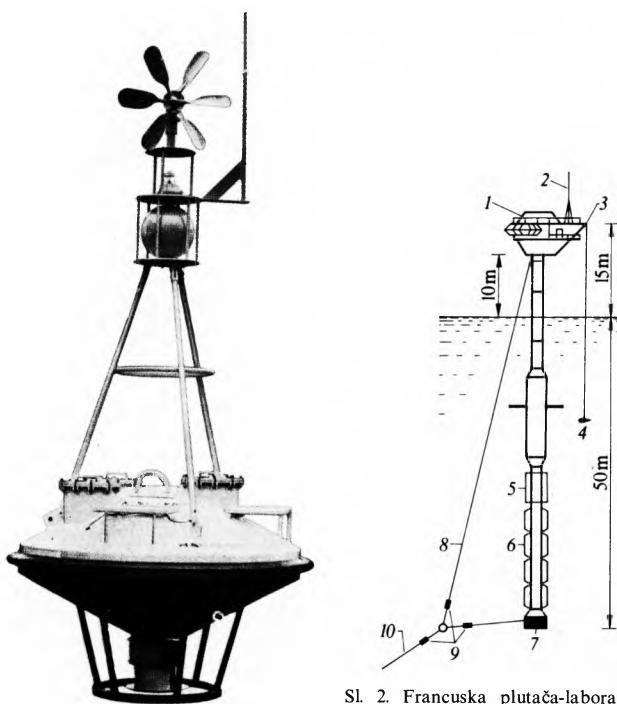


SL. 3. Podvodni ronilački laboratorijski postav Sealab III

Istraživačke podmornice upotrebljavaju se za slične svrhe kao i podvodni laboratorijski postav, a prednost im je što su pokretne i što se mogu spuštati i u velike dubine. Opremljene su različitim instrumentima za mjerjenje, kamerama i podvodnim televizijskim sustavima. Na sl. 4 i 5 prikazana je istraživačka podmornica Mermaid IV, izgrađena u SR Njemačkoj 1976. godine. Elektrohidraulički pogon omogućuje brzinu krstarenja pod vodom od 1,5 čvorova. Posadu čine pilot, operator i dva ronjoca. Pri brzini krstarenja ta podmornica može ostati pod vodom 8...10 sati i preći put od 10...15 morskih milja, a rezerve zraka dovoljne su za 120 sati boravka pod vodom. Maksimalna dubina ronjenja iznosi 260 m. Zrak se pročišćuje pomoću apsorbera ugljik-dioksida i uređaja za obogaćenje kisikom.



Sl. 4. Istraživačka podmornica Mermaid IV. Glavne karakteristike podmornice: duljina 7,4 m, širina 1,8 m, visina 2,7 m, vlastita masa 12,5 t, korisna nosivost 500 kg



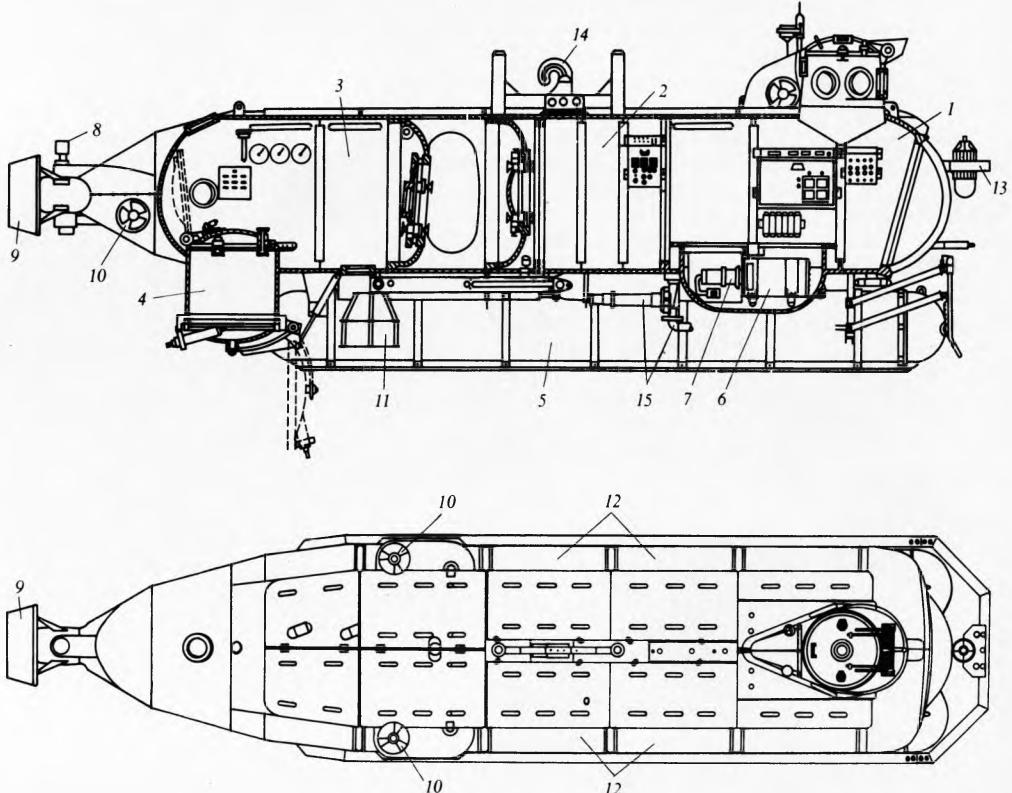
Sl. 1. Automatska oceanografska plutača s vlastitim izvorom energije za napajanje radio-uređaja, oceanografski i meteoroloških instrumenata. Domet radija ~55 km

Sl. 2. Francuska plutača-laboratorijski postav (Bouée Laboratoire I). 1 laboratorijski postav, 2 radio-antena, 3 vrtlo, 4 oceanografski instrumenti, 5 gorivo, 6 balastni tankovi, 7 željezni balast, 8 podesivo čelično uže, 9 vrtulji, 10 sidreno uže

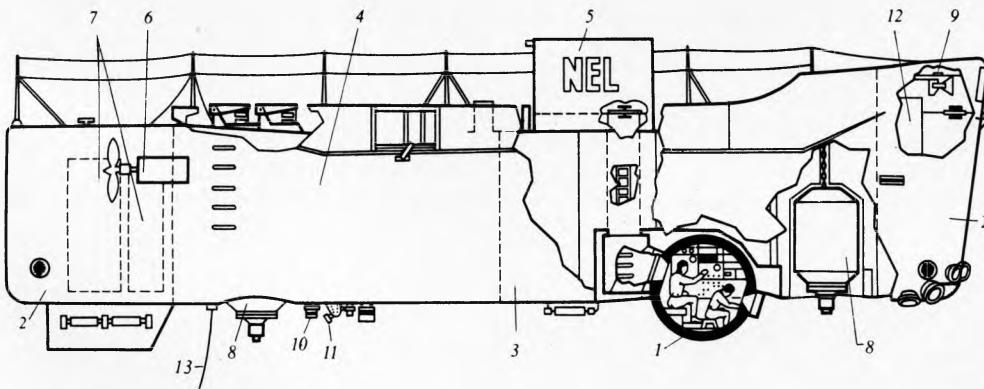
Od američkih istraživačkih podmornica poznate su: *Aluminaut*, predviđen za dubine do 4500 m, *Deep star 20000* za dubine do 6000 m, te serija *AGSS-555* istraživačkih podmornica sa 22 člana posade koje mogu raditi do dubine od 1000 m. Švicarska istraživačka podmornica *Ben Franklin*, izgrađena prema ideji J. Piccarda, nošena Golfskom strujom provela je sa 6 članova posade 30 dana pod vodom.

sl. Helikopteri, opremljeni akustičkim podvodnim uređajima, služe za praćenje i otkrivanje podmornica, a upotrebljavaju se i za radove i mjerena uz oceanografske brodove. Zato veći oceanografski brodovi nose na palubi i helikopter. Također se satelitom mijere oceanografski parametri. Mnogo se trudi da se ta tehnika usavrši jer pruža velike mogućnosti za mjerjenje različitih oceanografskih parametara na oceanima.

Sl. 5. Presjek istraživačke podmornice Mermaid IV. 1 upravljačka kabina, 2 teretni prostor, 3 ronilačka komora, 4 izlaz/ulaz ronilačke komore, 5 akumulatorske baterije, 6 elektromotor, 7 hidraulička pumpa, 8 hidraulički motor, 9 brodski vijak u sapnici, 10 mlazno kormilo, 11 balastni uteg, 12 balastni tankovi, 13 sonar, 14 kuka za dizanje podmornice za vrijeme havarije, 15 uređaj za plavljenje i pirenje tankova



Batiskafi su tako konstruirani da mogu doseći i najveće dubine, a zbog ograničenog kapaciteta baterija obavljaju kratko-trajne zadatke snimanja i proučavanja života pod vodom. Od podmornica se razlikuju po tome što nisu predviđeni za podvodnu vožnju, nego samo za vertikalno sruštanju i dizanje. Najpoznatiji je talijanski batiskaf *Trieste* s kojim su se J. Piccard i D. Walsh spustili do dubine od 10870 m u Marijanskoj brazdi kod Guama. Na sl. 6 prikazan je presjek američkog batiskafa *Trieste II*, predviđenog za dubine do 6000 m.



Platforme za podmorsko bušenje (v. *Nafte*) također se upotrebljavaju kao stанице za oceanografska mjerena, npr. mjerena meteoroloških parametara (u nas platforma *Panor I* i *Zagreb I*).

Avioni i helikopteri s posebnom opremom i instrumentima služe za različita oceanografska mjerena. Aerofotografijama (v. *Fotogrametrija*, TE 5, str. 583) mijere se površinske morske struje, površinska temperatura mora, prozirnost i boja mora, i

Sl. 6. Batiskaf *Trieste II*. Glavne karakteristike: duljina 24 m, širina 4,6 m, visina 8,2 m, vlastita masa 79,4 t, korisna nosivost 4,5 t, posada 2 pilota i 1 promatrač, rezerve zraka za 24 sata, dubine ronjenja do 6100 m. 1 pilotska i promatračka kabina, 2 ronilačka komora, 3 manevarski tank, 4 balastni tankovi s gorivom, 5 toranj, 6 elektromotor, 7 akumulatorske baterije, 8 balastni uteg, 9 sonar, 10 ultrazvučni dubinomjer, 11 televizijska kamera, 12 istraživačka oprema, 13 uže za vođenje

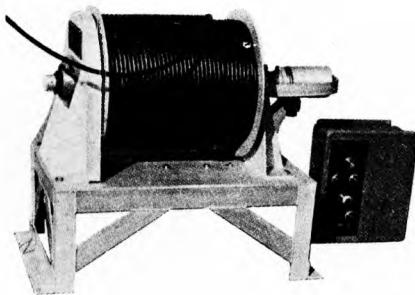
menoj oceanografiji. Poslijeratnim razvojem radio-navigacije i satelitske navigacije dobiveni su navigacijski sustavi pomoću kojih se geografski položaj određuje s točnošću od nekoliko metara. Moderni su brodovi opremljeni uređajima koji stalno i automatski elektroničkim računalom određuju položaj broda i s velikom preciznošću vode brod određenim smjerom. Poznati sustavi za određivanje točnog geografskog položaja broda na otvorenom moru jesu tzv. *hiperbolički sustavi* (LORAN,

DECCA, OMEGA i dr.; v. *Brod, instrumenti i specijalni uređaji*, TE 2, str. 319) i *satelitski navigacijski sustavi* (IRLS, SECOR, NASA'S PLACE, SPOT, NAVSTAR i dr.). U priobalnim područjima upotrebljavaju se tzv. *kružni sustavi* (RAY-DIST), *integrirani hidrografski sustav* (IHSS-100 D), a također i *podvodni akustički navigacijski sustavi* (ATNAV II i dr.).

Oceanografska vitla služe za sruštanje u more, dizanje i tegljenje oceanografskih instrumenata, sidrenje automatskih oceanografskih plutača, sidrenje na velikim dubinama i sl., pa spadaju u osnovnu opremu svakog istraživačkog broda. Prema namjeni i konstrukciji razvrstavaju se na laka, teška i kabelska vitla.

Laka oceanografska vitla upotrebljavaju se za sruštanje, dizanje i rad s lakšim oceanografskim instrumentima (npr. instrumenti za mjerjenje temperature mora, crpici za uzimanje uzoraka morske vode, strujomjeri, grabila za uzimanje sedimenata dna i sl.). Pogon vitla može da bude ručni, elektromotorom ili Dieselovim motorom.

Teška oceanografska vitla specijalne su konstrukcije, a služe za sruštanje, dizanje i tegljenje teških oceanografskih uređaja i instrumenata (npr. geoloških sondi za uzimanje uzoraka nanosa dna, dubinskih bioloških mreža, sruštanje i dizanje automatskih oceanografskih plutača i podvodnih laboratorijskih, tegljenje velikih podvodnih televizijskih kamera, sidrenje broda na velikim dubinama i sl.). Takva vitla obično imaju električni ili elektrohidraulički pogon (sl. 7).



Sl. 7. Teško oceanografsko vitlo s elektrohidrauličkim pogonom, kombinirano za rad sa čeličnim užetom ili kablom. Kapacitet dizanja 4 t

Kabelska vitla služe za sruštanje i dizanje instrumenata koji su spojeni električnim kabelom za izvor energije i regulator na brodu (npr. multisonde, električni strujomjeri, instrumenti za mjerjenje optičkih svojstava mora i sl.).

Jedno od bitnih obilježja oceanografskih vitala jest veliki raspon radnih brzina (od 0,3 m/s pa naviše). Bubanj vitla mora biti posebno čvrste konstrukcije, jer se pri dizanju tereta opterećenje bubnja povećava svakim namotajem čeličnog užeta. Napetost čeličnog užeta mjeri se dinamometrom ugrađenim na vitlu. Posebne vodilice osiguravaju da se čelično uže namata na bubanj vitla u pravilnim navojima. Duljinu odmotanog čeličnog užeta registrira poseban brojač. Kabelska vitla opremljena su kliznim kontaktnim prstenima koji osiguravaju kabelu neprekidan električni kontakt. Bubanj kabelskog vitla, kabel i spojevi moraju biti dobro izolirani.

Instrumenti za mjerjenje dubine mora. Dubina mora treba biti točno poznata na mjestu gdje se mjeri fizikalni, kemijski i biološki parametri, ili se sruštaju na dno mjerni instrumenti, odnosno sidre automatske oceanografske i meteorološke plutače. Prema dubini mora određuje se potreban broj instrumenata pri mjerjenjima u nizu; točni podaci o dubini mora potrebni su za navigaciju i izradbu batimetrijskih karata i sl.

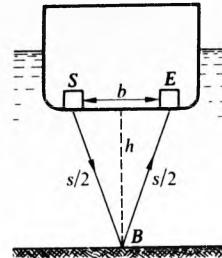
Sve negdje do 1950., kad su se počeli primjenjivati ultrazvučni dubinomjeri, mjerila se dubina mora žicom koja je bila opterećena utegom. Utug je na dnu imao udubinu ispunjenu lojem. Pri dodiru utega s morskim dnom, na loj se zalijepio materijal nanosa na dnu, pa se tako određivala i vrsta nanosa. Dubinu mora pokazivao je brojač duljine odmotane žice. Ta mjerjenja nisu bila točna jer se žica zakrivila zbog djelovanja

morskih struja i zanosa broda. Ti su nedostaci otklanjani različito, kao npr. Thomsonovim dubinomjernim strojem. Čelična pletena žica promjera 1 mm bila je opterećena utegom uz koji je bila pričvršćena staklena cjevčica u mesinganom kućištu. Cjevčica je s gornje strane zatvorena, a s donje otvorena. Unutrašnjost je cjevčice premazana srebro-kromatom, koji je crvene boje, a u dodiru s morskom vodom postaje tamnožute boje. Kad se cjevčica srušta prema morskom dnu, u nju prodire voda, a zrak se komprimira. Prema duljini stupca u cjevčici obojenog tamnožutom bojom određuje se, uz određene korekcije, dubina na kojoj je bio uteg.

Ultrazvučni dubinomjeri. Danas se dubine mora mjeru ultrazvučnim dubinomjerima. Princip mjerjenja dubine zvukom jest sljedeći (sl. 8): od izvora zvuka *S* šalje se zvučni signal do morskog dna, gdje se u točki *B* reflektira i vraća u prijamnik *E*. Mjeri se vrijeme *t* potrebno da zvuk prevali put *SB + BE = s*, a *s = vt*, gdje je *v* brzina zvuka kroz vodu. Za velike dubine uzima se da je prevaljeni put *s* jednak dvostrukoj dubini *h*, pa je *h = ½s*, a za manje je dubine

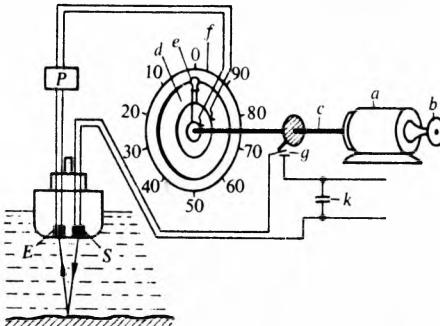
$$h = \frac{1}{2} \sqrt{s^2 - b^2}. \quad (1)$$

Prema frekvenciji zvučnih valova razlikuju se *zvučni* i *ultrazvučni dubinomjeri*. Danas su u upotrebi ultrazvučni dubinomjeri s usmjerenim snopom. Usmjereno se postiže zvučnim valovima valne duljine manje od vibracijske plohe odašiljača. Zvučni se valovi ne šire na sve strane, nego pretežno u smjeru okomitom na emitirajuću plohu, pa se tako izbjegavaju kutne greške pri mjerjenju dubina na kosoj površini dna. Ultrazvučni valovi proizvode se pomoću magnetostrikcije ili piezoelektrične pojave.



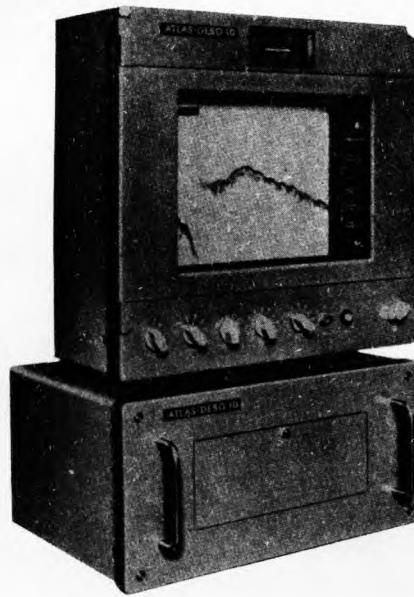
Sl. 8. Princip mjerjenja dubine mora pomoću ultrazvučnog dubinomjera

Princip rada ultrazvučnog dubinomjera prikazan je na sl. 9. Električni motor *a* pomoću regulatora *b* održava stalan broj okretaja i pogoni osovinu *c* i disk *d*. Disk na obodu nosi neonsku lampicu *e*. U trenutku kad neonska lampica prolazi kroz nultu točku fiksne skale dubine *f*, kontakt *g* na osovini *c* zatvori strujni krug odašiljača (predajnika) zvuka *S*, pa on emitira zvučni signal zbog pražnjenja kondenzatora *k*. Zvučni signal dolazi do dna, odbija se i vraća u prijamnik *E*. Prijamnik pretvara zvučne u električne oscilacije, koje se toliko pojačavaju pomoću pojačala *P* da neonska lampica zasvjetli. Za vrijeme dok zvuk od odašiljača *S* putuje do dna i vратi se u prijamnik *E* disk *d* okreće se zajedno s neonskom lampicom *e* za neki broj stupnjeva, ovisno o mjerenoj skali, brzini zvuka kroz vodu i broju okretaja diska. Ako se prepostavi da je brzina zvuka kroz vodu konstantna, može se vremenska skala



Sl. 9. Princip rada ultrazvučnog dubinomjera

zamijeniti sa skalom dubine. Dobivene vrijednosti ispravljaju se pomoću tablica koje daju brzinu zvuka kroz vodu na području gdje su dubine mjerene. Te se ispravke mogu dobiti i oceanografskim mjerjenjima temperature i slanosti na tom području, ili direktno mjerjenjem brzine zvuka posebnim mjeračima brzine zvuka. Slika neprekinitog reljefa morskog dna može se dobiti grafičkim registriranjem električnih impulsa za vrijeme plovidbe. Strujni impuls iz pojaka P dovodi se na elektrodnu pisaljku koja se, umjesto neonske lampice e , neprekidno kružno kreće preko elektroprovodnog grafitnog papira na registratoru. Kada strujni impuls dođe na elektrodnu pisaljku, stvori se iskra koja na papiru ostavi crni progorjeli trag u momentu prijema povratnog signala na određenoj podjeli dubinske skale. Na sl. 10 prikazan je suvremeni ultrazvučni dubinomjer koji se sastoji od registratora, kontrolnog uređaja, pretvarača 30 kHz i pretvarača 210 kHz. Pretvarač emitira zvučni impuls u obliku lijevka vertikalno prema morskom dnu. Dio se energije odbija od dna i vraća se kao jeka u pretvarač koji radi i kao odašiljač i kao prijamnik, pa se time izbjegavaju kutne greške na malim dubinama. Vrijeme proteklo od emisije zvučnog impulsa i povratka njegove jeke određuje dubinu. Pero za registriranje, vezano za gumeni remen, pokreće se po ordinati, a papir po apscisi ehograma, što omogućuje registriranje prirodne slike reljefa morskog dna u obliku neprekinute krivulje. Od mekanog se dna reflektira 210 kHz, a od čvrstog dna 30 kHz, pa ako se istodobno radi s obje frekvencije, može se razlikovati muljevitno dno od čvrstog dna prema nijansi sive boje registrirane na ehogramu.



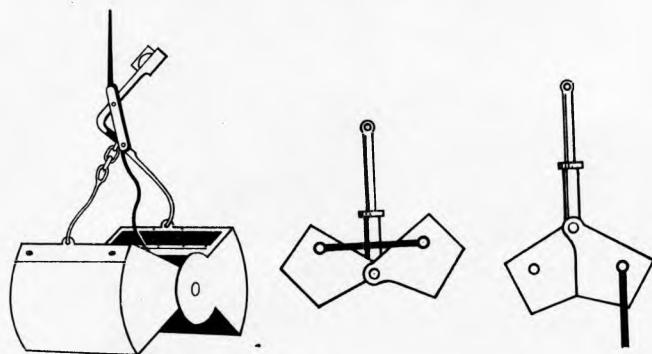
Sl. 10. Pisač i kontrolni uređaj ultrazvučnog dubinomjera

Instrumenti za vađenje uzorka sedimenata morskog dna. Uzorci sedimenata morskog dna uzimaju se radi određivanja vrste sedimenta na dnu mora, izradbe sedimentoloških karata i sličnog.

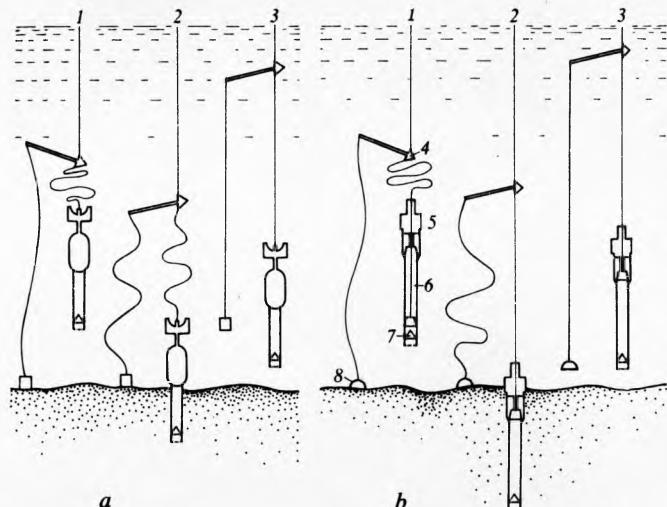
Grabila su sprave koje zahvaćaju površinski sloj sedimenata morskog dna. Različitih su vrsta i veličina, a princip rada im je sličan (sl. 11). Udarom o dno oslobođe se napeta opruga, pa se zatvore dvije polovice grabila i pri tom zahvate određenu količinu nanosa dna. Nedostatak je u tome što grabila zahvaćaju malu količinu uzorka, a može se dogoditi da se grabila potpuno ne zatvore ako je nanos krupoznat, pa sitnozrnati talog (piesak ili mulj) iscuri.

Geološke sonde prodiru dva do četiri metra u morsko dno i pomoću njih se može odrediti stratifikacija sedimenata. Najpoznatiji su tipovi geoloških sondi: gravitacijska sonda i klipna udarna sonda (sl. 12). Geološka sonda slobodnim padom udari

o morsko dno, probije ga i cijev se sonde ispunji talogom. Posebni ventili ne dozvoljavaju da talog iscuri, ali propuštaju vodu. *Gravitacijska sonda* ima manju dubinu prodiranja zbog trenja između stijenki sonde i taloga. Nedostatak joj je da se talog u sondi srušiže zbije, što narušava stratifikaciju sedimenata. *Klipne sonde* su savršenije. Protututeg prvi udari o dno povlačeći klip koji se nalazi unutar cijevi sonde. Klip se podiže prema gore jednakom brzinom kojom sonda prodire kroz nanos dna. Pri tom se stvara mali vakuum koji pomaže da sonda dublje prodire i ne narušava se stratifikacija sedimenata.



Sl. 11. Grabila



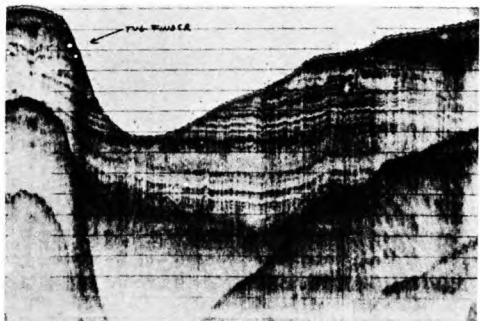
Sl. 12. Geološke sonde. a) gravitacijska sonda, b) klipna sonda. 1 slobodni pad, 2 prodiranje, 3 dizanje, 4 mehanizam za oslobođanje, 5 uteg, 6 cijev sonde, 7 osigurač klipa, 8 uteg za aktiviranje klipa

U posljednje se vrijeme upotrebljava tsv. *slobodna sonda* smještena u teškom držaču s plutačom. Kad sonda udari o morsko dno, ona se ispunji talogom i ujedno se oslobođi od držača, pa ju plutača podigne na površinu mora. Plutača je označena obojenom zastavicom, radarskim reflektorom ili radio-odašiljačem radi lakšeg pronalaženja. Sonda s držačem dovoljno je teška da na nju pri tonjenju minimalno utječu morske struje, pa se tako točno zna geografski položaj točke na kojoj je uzet uzorak.

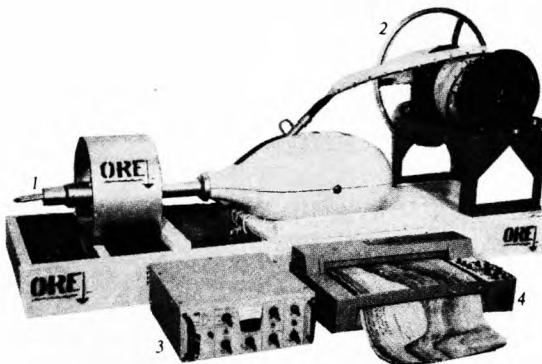
Instrumenti za snimanje geološkog sastava morskog dna. Geološki ultrazvučni dubinomjer služi za snimanje geološkog sastava morskog dna sve do čvrstih stijena (sl. 13). Sastoji se od odašiljača s kontrolnim upravljačkim uređajem koji se tegli iza broda, te grafičkog registratora i kabelskog vitla s posebnim armiranim kabelom za spuštanje i tegljenje, koji su smješteni na brodu (sl. 14). Odašiljač radi na frekvencijama od 3 do 34 kHz.

Pomoću ultrazvučnog dubinomjera s bočnim širokim snopom (*side scan sonar*, sl. 15) mogu se grafički snimiti topografski i drugi detalji na morskom dnu ili neposredno iznad dna. Sastoji se od odašiljača koji se tegli iza broda na specijalnom

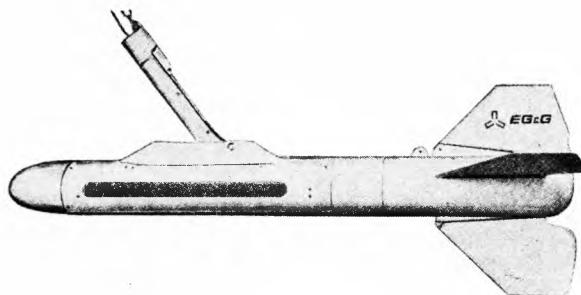
kabelu, kabelskog vitla i grafičkog registratora. Ultrazvučni se snop može podešavati tako da ima otklon 20...50 stupnjeva od vertikale. Tako se dobiva snimak dna od točke neposredno ispod odašiljača pa do 500 metara u svaku stranu od horizontalne osi odašiljača.



Sl. 13. Snimak sedimenta dobiven geološkim dubinomjerom



Sl. 14. Geološki dubinomjer. 1 odašiljač, 2 kabelsko vitlo, 3 upravljački uredaj, 4 registrator

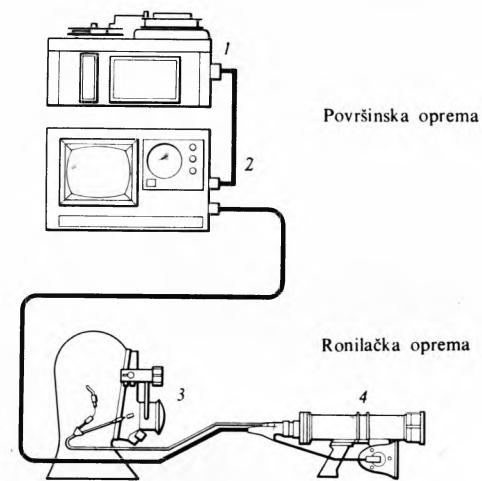


Sl. 15. Ultrazvučni dubinomjer sa širokim bočnim zvučnim snopom (side scan sonar)

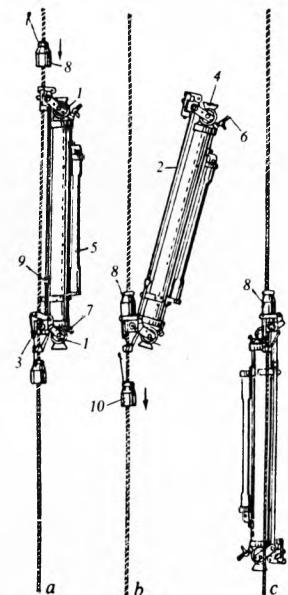
Podvodni televizijski uređaji i kamere za snimanje pod vodom mogu također poslužiti za snimanje morskog dna, proučavanje života u moru, otkrivanje i identifikaciju potonulih brodova, kontrolu podvodnog dijela broda, praćenje radova pod vodom, kontrolu ispravnosti podmorských kabela i sl. Podvodni televizijski sustavi i kamere mogu se ugraditi u istraživačke podmornice, podvodne laboratorije i batiskafe za istraživanja na većim dubinama, odnosno spuštaju se na kabelu i upravljaju ili s istraživačkog broda, ili pomoću ronioca (sl. 16).

Instrumenti za uzimanje uzoraka morske vode. Sprave pomoću kojih se uzimaju uzorci morske vode iz različitih dubina nazivaju se *crpcima*. Uzorci morske vode služe za određivanje fizičkih i kemijskih svojstava morske vode (slanost, gustoće, električne provodljivosti, optičkih konstanti i sl.), te za proučavanje organskih i anorganskih supstancija i plinova otopljenih ili raspršenih u vodi. Crpcici su najčešće cilindričnog oblika, izrađeni su od nerđajućeg metalta, specijalne plastike ili stakla, i imaju zapremninu 1...30 litara. Za uzimanje veće količine

uzorka morske vode upotrebljavaju se crpcici u obliku najlonske vreće zapremnine 100...2000 litara. Takvi se crpcici zatvaraju utegom koji se spušta po čeličnom užetu.



Sl. 16. Shema ronilačkog televizijskog uređaja. 1 magnetoskop, 2 površinska stаница, 3 ronilačka maska s uredajem za vezu, 4 TV-kamera sa svjetлом

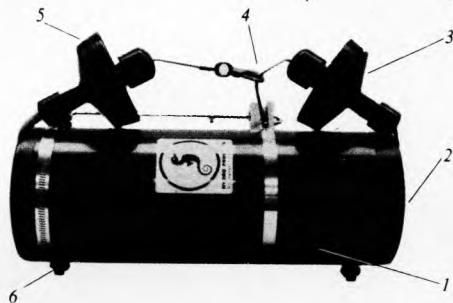


Sl. 17. Nansenov prekretni crpac (Nansenova boca). a prije prekretanja, b za vrijeme prekretanja, c nakon prekretanja. 1 zaporni ventil, 2 šipka, 3 stezni uredaj, 4 opružni uredaj, 5 okvir s termometrima, 6 pipac, 7 odusni ventil, 8 gornji uteg, 9 osigurač, 10 donji uteg

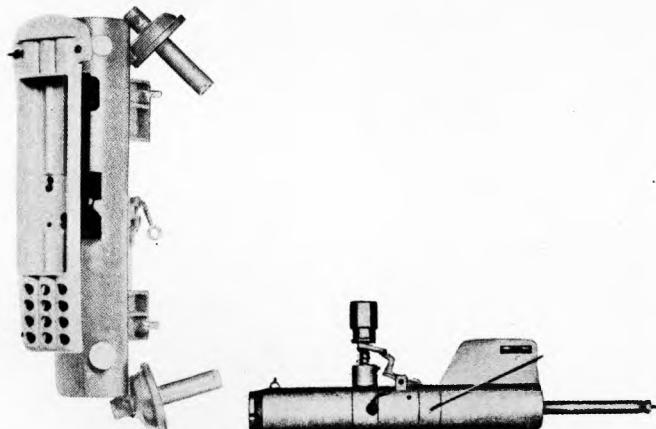
Najpoznatiji je *Nansenov prekretni crpac* (sl. 17). Metalna cijev crpca iznutra je presvučena plastikom, a krajevi cijevi su suženi. Na krajevima se nalaze zaporni ventili 1, međusobno spojeni šipkom 2, tako da se istodobno zatvaraju kad se crpac prekrene. Donji kraj crpca čvrsto je vezan za čelično uže stezni uredajem s vijkom 3. Gornji kraj crpca spojen je s opružnim uredajem 4 koji se na udar otvara. Na crpcu se nalazi i okvir 5 u koji se postavljaju prekretni termometri za mjerjenje temperature mora. Iz crpca se uzorak morske vode puni u staklene ili plastične boce preko pipca 6 nakon što se otvor odusni ventil 7. Crpac se prekreće, a ujedno i zatvara specijalnim utegom 8 koji se spušta po čeličnom užetu. Na sl. 17 prikazana su tri položaja crpca prije, za vrijeme i poslije prekretanja. Kad uteg 8 udari u opružni uredaj na gornjem kraju crpca, taj se kraj oslobođi pa se crpac prekrene oko donjeg zglobo. Pri prekretanju šipka 2 zatvori oba ventila, a osigurač 9 na šipki drži cijev nepropusno zatvorenu. Uteg 8 nastavi padati užduž čeličnog užeta i udari u opružni uredaj na donjem kraju crpca, gdje se nalazi isti takav uteg 10. Opružni uredaj oslobođi uteg 10 koji nastavlja put i na isti način prekreće sljedeći crpac u nizu. Zajedno sa crpcem prekreću se i prekretni

termometri koji pokazuju temperaturu vode na mjestu gdje su se preokrenuli. Zapremnina Nansenova crpca iznosi $1250 \dots 2000 \text{ cm}^3$.

Van Dornov crpac (sl. 18) izrađen je od plastike. Uredaj za zatvaranje sastoji se od gumenih poklopaca međusobno povezanih kroz šuplje tijelo crpca gumenom elastičnom trakom. Crpac se zatvara pomoću utega koji udarcem u gornji kraj mehanizma za zatvaranje oslobođi gumenu traku, pa se gumeni poklopci hermetički zatvore, a ujedno se oslobođi i uteg za zatvaranje sljedećeg crpca u nizu. Zapremnina crpca iznosi $3 \dots 6$ litara.



Sl. 18. Van Dornov crpac. 1 tijelo crpca, 2 otvor crpca, 3 gumeni poklopac, 4 mehanizam za zatvaranje crpca, 5 brtva na gumenom poklopcu, 6 pipac za ispuštanje uzorka vode



Sl. 19. Niskinov crpac

Sl. 20. Horizontalni crpac

Niskinov crpac (sl. 19) također je izrađen od posebne plastike, a prema konstrukciji je sličan Van Dornovu crpcu. Iako nije prekretnog tipa, na njega se može postaviti nosač prekretnih termometara koji se prekreće pomoću posebnog opružnog uređaja. Zatvara se na isti način kao i Van Dornov crpac.

Horizontalni tip crpca (sl. 20) služi za uzimanje uzoraka morske vode iz tankog sloja. U njemu ostaju sve čvrste tvari raspršene u morskoj vodi.

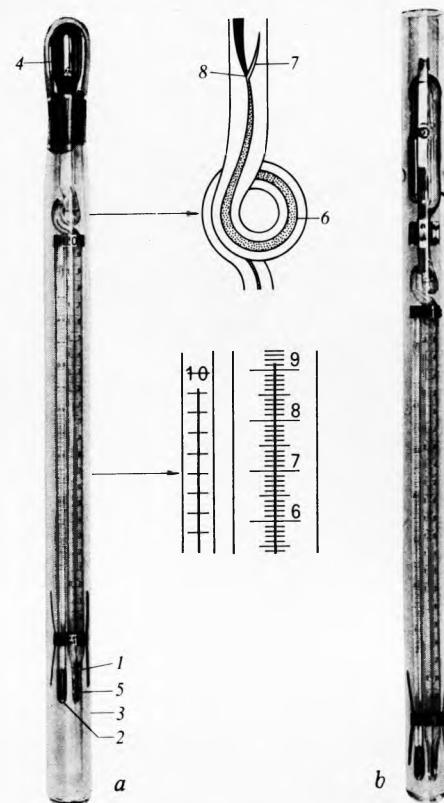
Za mikrobiološka ispitivanja i određivanje teških metala u vodi uzorci se uzimaju posebnim *steriliziranim crpcima*. U metalno kućište umeće se stakleni sterilni cilindar s kapilarnim nastavcima koji izlaze iz kućišta kroz vodonepropusne zavrtne. Poseban uredaj, koji se aktivira utegom, lomi kapilarne nastavke i hermetički zatvara crpac.

Crpci se mogu upotrebljavati pojedinačno ili u nizu, a uzorci se mogu uzimati i iz najvećih dubina, već prema tipu crpca.

Instrumenti za mjerjenje temperature mora. Temperatura mora mjeri se u površinskom sloju (temperatura morske površine), po dubini (vertikalni raspored temperature) ili promjene temperature u određenoj točki (dnevna, mjesecna ili godišnja kolebanja temperature mora).

Temperatura površinskog sloja mora mjeri se površinskim živinim termometrom zatvorenim u posebno kućište, ili električnim termometrima.

Prekretni živini termometri služe za mjerjenje temperature po dubini, a postavljaju se u posebne okvire na crpcima za uzimanje uzorka morske vode. Prvi prekretni termometar, u kojem se živa u kapilari prekine kad se termometar prekrene, izradili su 1878. god. Negretti i Zamba. Godine 1900. Richter i F. Nansen usavršili su prekretni termometar, pa se njihov tip upotrebljava i danas (sl. 21). Postoje dvije vrste prekretnih termometara: zaštićeni i nezaštićeni. Zaštićeni prekretni termometar služi za mjerjenje temperature in situ, a nezaštićeni za kontrolno mjerjenje dubine gdje se nalazio crpac.



Sl. 21. Prekretni termometri. a zaštićeni prekretni termometar. 1 glavni termometar, 2 pomoći termometar, 3 stakleno kućište, 4 spremnik žive, 5 proširenje kapilare, 6 petlja kapilare, 7 slijepi kanal, 8 mjesto gdje se prekine nit žive. b nezaštićeni prekretni termometar

Zaštićeni prekretni termometar (sl. 21a) sastoji se od glavnog i pomoćnog ili korekcijskog termometra 2. Ta su oba termometra hermetički zatvoreni u staklenom kućištu 3 koje ih na dubini štiti od vanjskog tlaka vode. Termometar, postavljen u okvir na crpcu, sa spremištem žive 4 prema dolje spusti se na određenu dubinu. Prekretanjem termometra za 180° prekine se stupac žive na mjestu gdje se u kapilari 8 glavnog termometra odvaja slijepi kanal 7. Prekinuti dio žive dolazi u proširenje kapilare 5 i njena razina u kapilari primjerena je temperaturi dubine na kojoj se termometar nalazio. U petlji kapilare 6 skuplja se živa koja nakon prekretanja, kad se termometar vadi iz mora, može izaći iz spremišta zbog više temperature slojeva vode i zraka kroz koje termometar prolazi. Temperatura na glavnom i pomoćnom termometru očita se posebnim povećalom, s točnošću očitavanja glavnog termometra $\pm 0,01^\circ\text{C}$ i pomoćnog $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Budući da termometar pri dizanju prolazi kroz slojeve različitih temperatura i na brodu se neko vrijeme nalazi na vanjskoj temperaturi, visina se stupca u kapilari promjeni za neku vrijednost. Zbog tih promjena i korekcije instrumenta očitanu vrijednost temperature treba ispraviti prema formuli

$$T_w = T' + C + I, \quad (2)$$

gdje je T_w korigirana vrijednost temperature, T' očitana vrijednost temperature glavnog termometra, I indeksna ispravka za

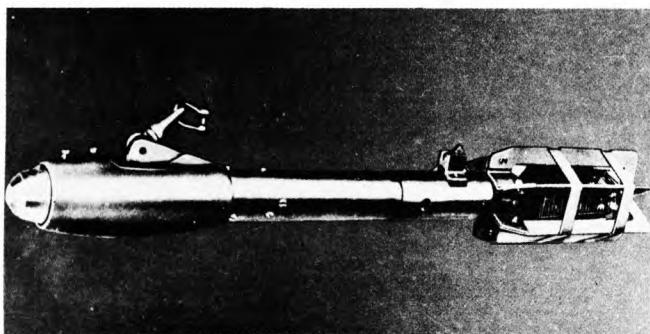
skalu glavnog termometra, koja se nalazi u baždarskom listu prekretnog termometra (uzima se ona koja je najbliže očitanoj temperaturi glavnog termometra T'), a vrijednost C definirana je izrazom

$$C = \frac{(T' + V_0)(T' - t)}{K - 100}, \quad (3)$$

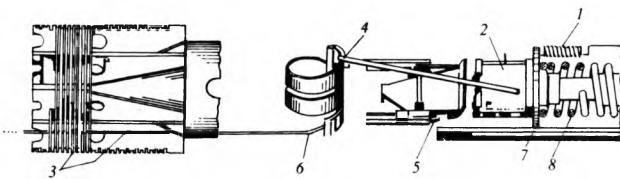
gdje je V_0 volumen žive do oznake za 0°C na skali (podatak se nalazi u baždarskom listu termometra), t očitana vrijednost temperature pomoćnog termometra, K recipročni toplinski koeficijent ekspanzije stakla od kojeg je termometar načinjen, navedeni u baždarskom listu termometra (za jensko staklo $K = 6100$).

Nezaštićeni prekretni termometar (sl. 21 b) iste je konstrukcije kao i zaštićeni, ali mu je kućište s donje strane otvoreno tako da tlak vodenog stupca djeluje na spremište žive. Služi za mjerjenje dubine na kojoj je bio crpac s termometrom, a upotrebljava se za dubine veće od 300 metara. Očitana temperatura ispravlja se kao i za zaštićeni termometar, a dubina se izračunava posebnom formulom.

Batitermograf (sl. 22) mjeri raspored temperature po dubini do 280 metara, a može se upotrebljavati i dok brod plovi. Konstruirao ga je A. F. Spilhaus 1937. god. i u principu je do danas ostao nepromijenjen. Batitermograf se sastoji iz temperaturnog i dubinskog dijela smještenih u kućištu od nerđajućeg materijala (sl. 23). Dubinski se dio sastoji od hidrostatskog mijeha 1 i izravno je spojen s nosačem nagaravljenе staklene pločice 2. Mijeh se uzdužno steže i rasteže prema promjeni tlaka na dubini, što se registruje na nagaravljenoj pločici. Temperaturni dio sastoji se od spiralne kapilarne cijevi 3 ispunjene plinom ksilenom koji ima visoki temperaturni koeficijent širenja. Kraj cijevi spojen je s polugom pisaljke 4 koja se otklanja lijevo i desno od uzdužne osi, već prema promjeni temperature. Tako se na nagaravljenoj staklenoj pločici dobije krivulja rasporeda temperature kao funkcija dubine. Pločica se očita u posebnom čitaču s graviranom mrežicom za vrijednosti temperature i dubine.



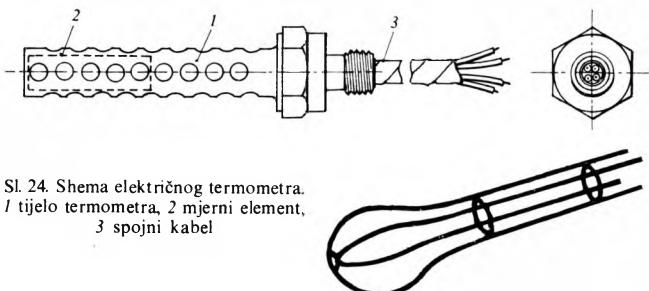
Sl. 22. Batitermograf



Sl. 23. Shema mjernih elemenata batitermografa. 1 mijeh, 2 staklena pločica, 3 spiralna kapilarna cijev, 4 poluga pisaljke, 5 podizač pisaljke, 6 Bourdonova cijev, 7 glava klipa, 8 opruga

Električni termometri (v. *Električna mjerena*, TE 3, str. 661) rade na principu promjene otpora nekog vodiča zbog promjene temperature. Postoji više vrsta električnih termometara, a kao mjerni element upotrebljava se bakrena ili platinska žica, ili poluvodiči (termistori). Na sl. 24 prikazan je električni termometar s mjernim elementom od platinske žice koja se nalazi u posebnom nosaču smještenom u zaštitnu perforiranu cijev.

Termometar je kabelom spojen s registratorom na palubi broda. Može se upotrebljavati do dubine od 6000 metara. Raspon mjerena temperature iznosi od -5 do $+40^\circ\text{C}$, a točnost mjerena je $\pm 0,02^\circ\text{C}$.



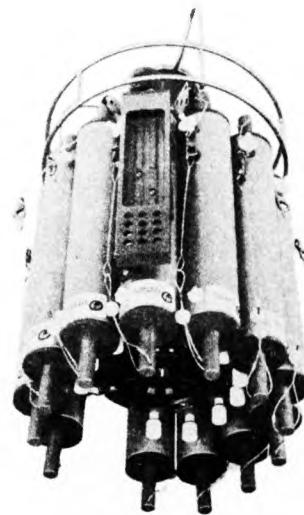
Sl. 24. Shema električnog termometra.
1 tijelo termometra, 2 mjerni element,
3 spojni kabel



Neki tipovi električnog termometra mogu imati svoj izvor napajanja i nisu vezani kabelom, a izmjerene podatke o temperaturi bilježe u određenim vremenskim intervalima na magnetsku vrpcu ili grafički pisač. Takvi termometri mogu biti također u sklopu multisondi ili instrumenata za mjerjenje morskih struja.

Fototermodraf snima u određenim vremenskim intervalima skale specijalnih termometara. Snimanje i pokretanje filma je automatsko pomoću kvarcnog sata. Uredaj za snimanje i termometri zatvoreni su u vodonepropusno kućište.

Sustav za prikupljanje oceanografskih podataka (često zvan multisondom, batisondom, sustavom CTD ili STD), uz ostale senzore, ima i senzor za mjerjenje temperature. Takvi sustavi najčešće imaju još i senzore za mjerjenje slanosti, električne provodnosti (specifične vodljivosti), brzine zvuka u moru, otopljenog kisika, pH, dubine i drugih parametara. Sastoje se od nosača za pojedine senzore (sonde), grafičkog i brojčanog pokazivača, uređaja za bilježenje podataka na magnetsku vrpcu i kabelskog vitla. Uz takav instrument mogu se postaviti i crpce u posebnom nosaču, koji automatski na pojedinim dubinama uzimaju uzorce morske vode (sl. 25). Takvi se sustavi za prikupljanje oceanografskih podataka sve više upotrebljavaju jer su univerzalni, ekonomični i visoke mjerne točnosti. Točnost senzora temperature iznosi $\pm 0,02^\circ\text{C}$, senzora električne provodnosti $\pm 0,02 \text{ mS/cm}$, senzora slanosti $\pm 0,02\%$, senzora brzine zvuka $\pm 0,05 \text{ m/s}$, senzora dubine $\pm 0,3\%$ itd.



Sl. 25. Podvodni senzori multisonde

U posljednje vrijeme mjeri se temperatura površine mora i pomoću istraživačkih satelita. Ta mjerena su neprekidna i obuhvačaju velike vodene površine, pa su veoma važna za suvremenu oceanografiju.

Instrumenti za mjerjenje slanosti mora. Udjel soli važna je karakteristika morske vode. Ovisnost svojstava morske vode

(npr. gustoće) o njenu sastavu prikladnije je izraziti udjelom soli nego elementarnim ili ionskim sastavom. Udjel soli izražava se *slanošću* (*salinitetom*), što se definira kao masa čvrste tvari koja se može dobiti iz 1 kg vode pod uvjetom da se čvrsta tvar suši na temperaturi 480°C do konstantne težine, da su karbonati prevedeni u okside, da je sva organska tvar oksidirana i da su brom i jod zamijenjeni klorom.

Udjel soli u morskoj vodi navodi se u dijelovima na tisuću, a određuje se kemijski titracijom halogenid-iona ili instrumentalnim metodama kao što su mjerjenje indeksa loma, brzine zvuka i električne vodljivosti. Najstariji način određivanja udjela soli u morskoj vodi, koji se ponegdje još i danas primjenjuje, jest *Mohr-Knudsenova metoda* titracije halogenid-iona (1902. god.). Titrira se srebro-nitratom, pa se istalože srebro-klorid, srebro-bromid i srebro-jodid. Da bi se odredila završna točka titracije, u otopinu se prije toga doda kalij-bromat. Nakon što se halogenid-ioni istalože u obliku teško topljivih srebro-halogenida, već mali suvišak srebro-iona u otopini reakcijom s bromat-ionima mijenja boju otopine u crveno. Tom se metodom, zapravo, određuje klorinitet definiran kao masa halogenida u 1 kg morske vode, uz pretpostavku da su brom i jod zamijenjeni klorom. Prema izvornoj Knudsenovoj formuli iz 1901. god. slanost je definirana sa:

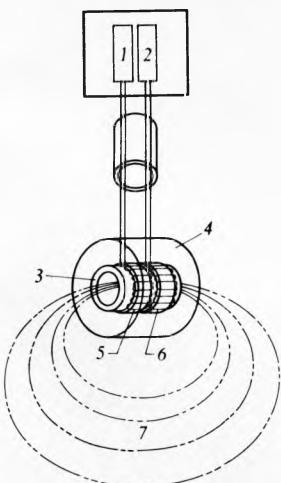
$$\text{slanost} = 0,03 + 1,805 \times \text{klorinitet}, \quad (4)$$

dok je UNESCO preporučio 1962. god. sljedeći izraz:

$$\text{slanost} = 1,80655 \times \text{klorinitet}. \quad (5)$$

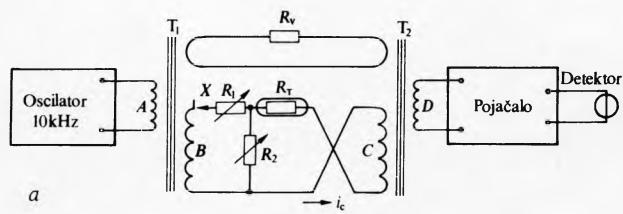
Danas se slanost najviše određuje mjerjenjem električne provodnosti, i to termostatiranim laboratorijskim salinometrima (temperatura se održava unutar granica $\pm 0,001^{\circ}\text{C}$) i različitim sustavima za prikupljanje oceanografskih podataka (multisondama).

Najviše se upotrebljavaju induksijski laboratorijski salinometri jer su vrlo točni, mogu obraditi i do 40 uzoraka na sat, a prema izmjerenoj električnoj provodnosti lako se pomoću tablica preračuna slanost. Induciranjem izmjenične struje u zatvorenom krugu vode i mjerjenjem jakosti inducirane struje može se u kontroliranim uvjetima, bez primjene elektroda, odrediti provodnost vode. Mjerna ćelija induksijskog salinometra (sl. 26) sastoji se od dvije zavojnice namotane na prstenastim ili toroidnim jezgrama, smještene u cilindričnom kućištu. Prva zavojnica, napajana iz visokofrekventnog oscilatora, inducira izmjeničnu struju koja teče u zatvorenom krugu kroz cilindar ćelije i kroz vodu oko cilindra. Druga zavojnica služi za mjerjenje jakosti tako inducirane struje koja je upravo proporcionalna električnoj provodnosti vode.

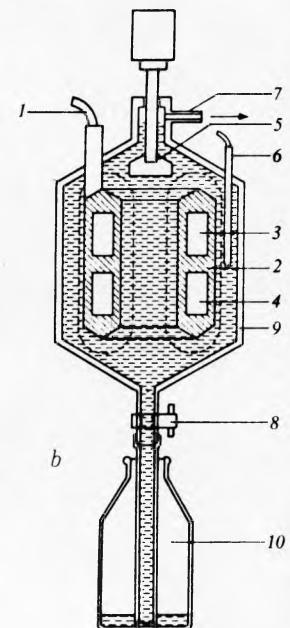


Sl. 26. Princip rada induksijskog salinometra. 1 strujni krug oscilatora, 2 mjeri strujni krug, 3 cijev izolatora, 4 cilindrično kućište, 5 prva zavojnica, 6 druga zavojnica, 7 inducirana električna struja u morskoj vodi

Princip rada induksijskog laboratorijskog salinometra prikazan je na pojednostavljenim crtežima strujnog kruga (sl. 27a) i mjerne ćelije (sl. 27b). Naponski transformator T_1 i strujni transformator T_2 namotani su na jednakim prstenastim jezgrama visoke permeabilnosti i zatvoreni zajedno u plastično kućište.



a



Sl. 27. Indukcijski laboratorijski salinometar. a shema strujnog kruga, b shema mjerne ćelije. 1 električni vodič, 2 sklop prstenastih jezgri, 3 jezgra naponskog transformatora, 4 jezgra strujnog transformatora, 5 miješalica uzorka vode, 6 termistor za temperaturnu kompenzaciju, 7 priključak na vakuumsku pumpu, 8 slavina za kontrolu punjenja mjerne ćelije, 9 kućište mjerne ćelije, 10 boca s uzorkom vode

Primarni namot A transformatora T_1 napaja se iz oscilatora strujom visoke frekvencije. Mjerna ćelija nalazi se unutar plastičnog kućišta koje se pomoću vakuumske pumpe puni uzorkom morske vode. Temperatura uzorka izjednačuje se pomoću miješalice. Uzorak je električki ekvivalentan nadomjesnom strujnom sklopu između transformatora T_1 i T_2 koji su razdvojeni magnetskim štitom. Radni (omski) otpor R_v uzorka ovisan je o geometrijskom obliku ćelije i obrnuto je proporcionalan slanosti uzorka (iznosi približno 60Ω za slanost od 35%). Namoti B i C transformatora T_1 i T_2 povezani su otpornicima R_1 , R_2 i R_t . Polaritet namota izabran je tako da struja i_c inducira struju u T_2 , suprotnog smjera od struje kroz otopinu. Podešavanjem izlaznog napona namota B mijenja se jakost struje i_c dok se tok u jezgri T_2 ne izjednači s nulom koju pokazuje detektor. Termistor R_1 nalazi se u prostoru između kućišta i prstenastog tijela i pri promjeni temperature osigurava



Sl. 28. Indukcijski salinometar za izravno mjerjenje

temperaturnu kompenzaciju mijenjajući napon u namota C. Slanost se dobije iz tablica prema izmjerenoj provodnosti morske vode i temperaturi pri kojoj je uzet uzorak.

Indukcijski salinometar za izravno mjerjenje sastoji se od podvodnog senzora i palubnog pokazivača (sl. 28). Podvodni senzor spušta se na kabel do dubine 140 m, a sastoji se od čeličnog kućišta gdje je smještena induksijska ćelija i termistor. Toroidni namoti su namotani oko cilindra koji se nalazi u sredini kućišta, a termistor je u perifernom dijelu kućišta. Svi unutrašnji dijelovi smješteni su u plastično kućište. Instrument mjeri provodnost i temperaturu vode, i na temelju tih podataka izračuna se salinitet. Izmjereni podaci očitavaju se na palubnom pokazivaču. Nadomjesna shema strujnog kruga instrumenta u principu je slična onoj na sl. 27. Temperatura se mjeri istosmjernim Wheatstonovim mostom (v. *Električna mjerjenja*, TE3, str. 603), u kojem par termistora služi kao senzor temperature. Prekidačem na palubnom pokazivaču može se birati mjerjenje električne provodnosti ili slanosti.



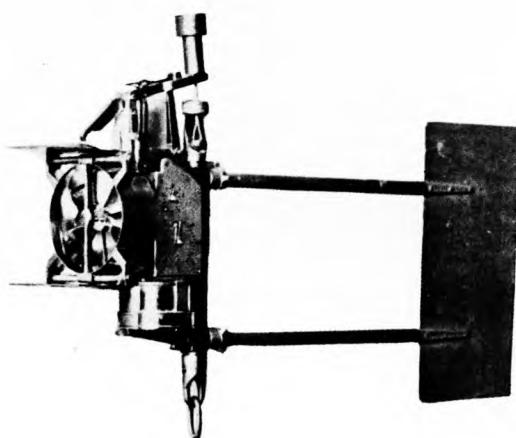
Sl. 29. Mjerni element provodnosti morske vode (u sklopu multisonde)

Na sličnom principu konstruirani su i senzori za provodnost ili slanost koji se ugrađuju u različite multisonde, strujomere ili slične instrumente (sl. 29). Takvi senzori mogu se upotrebljavati i na većim dubinama, npr. do 6000 m.

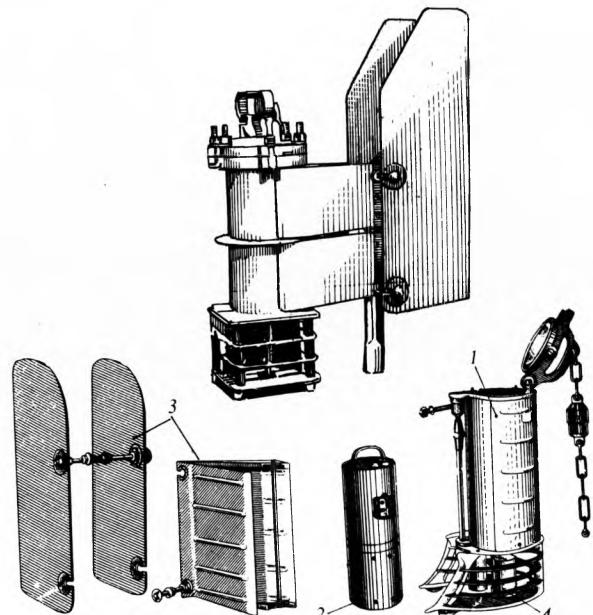
Instrumenti za mjerjenje morskih struja. Smjer i brzina morske struje mjeri se strujomjerom, i to neprekidno ili u određenim vremenskim intervalima. Strujomjeri se mogu postavljati u nizu na pojedinim odabranim dubinama u sklopu automatskih strujomjernih stanica, ili pojedinačno s broda ili platformi za bušenje, ili se polažu s posebnim nosačem na morsko dno. Prema konstrukciji i načinu registriranja razlikuju se mehanički, električni i elektronički strujomjeri. Danas se većinom upotrebljavaju elektronički strujomjeri jer su ekonomični, mogu zapisivati na magnetske vrpcе mnogo podataka, a podaci se izravno s vrpce obrađuju na elektroničkom računalu. Pomoću radio-odašiljača u sklopu automatske strujomjerne stанице mogu se izmjereni podaci neprekidno predavati sabiralištima ili prijamniku na brodu.

Mehanički strujomjeri. Jedan od prvih i najpoznatijih mehaničkih strujomjera jest strujomjer švedskog znanstvenika V. W. Ekmana, a prvi puta je upotrebljen 1905. god. (sl. 30). Aleksejevljev mehanički strujomjer tipa BPV radi nezavisno 5...60 dana, već prema mjernim vremenskim intervalima (5, 10, 15, 20, 30 ili 60 minuta) koji se podešavaju promjenom vremenskog diska. Taj se strujomjer sastoji od vodonepropusnog tijela, uređaja za registriranje brzine i smjera struje, i stabilizatora (kormila) koji usmjeruje tijelo sprave u tok struje (sl. 31). Za pogon sata i mehanizma za registriranje služe dvije čelične satne opruge. Morska struja okreće propeler smješten ispod kućišta strujomjera, a broj okretaja propelera proporcionalan je brzini morske struje. Zajedno s podatkom o smjeru morske

struje, koji daje *kompasna ruža*, broj se okretaja propelera bilježi na papirnatoj vrpci registratora. Masa strujomjera iznosi 36 kg, mjerno je područje brzine 2,5...148 cm/s, a strujomjer može mjeriti do dubine od 1200 metara.

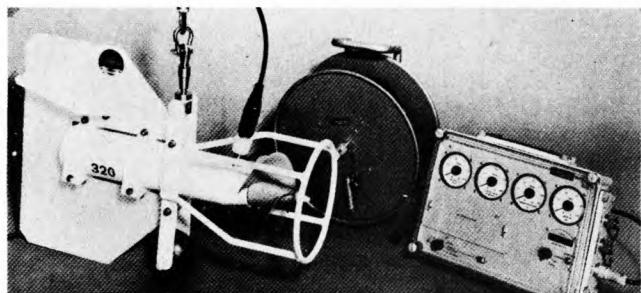


Sl. 30. Ekmanov mehanički strujomjer



Sl. 31. Aleksejevljev mehanički strujomjer. 1 tijelo strujomjera, 2 uređaj za registriranje, 3 stabilizator, 4 rotor

Električni strujomjeri spuštaju se u more pomoću kabelskog vitla, a izmjerene podatke zapisuje registrator na brodu (sl. 32). Električnu energiju daje akumulator, suhe baterije, ili se energija uzima iz brodske mreže. Raspon mjerjenja brzine struje iznosi 5...250 cm/s, s točnošću $\pm 2\%$ od maksimalne vrijednosti. Osim smjera i brzine morske struje može se dodatnim senzorima mjeriti i temperatura, dubina, slanost, pH, otopljeni kisik i dr. Upotrebljava se do dubine od 600 metara.

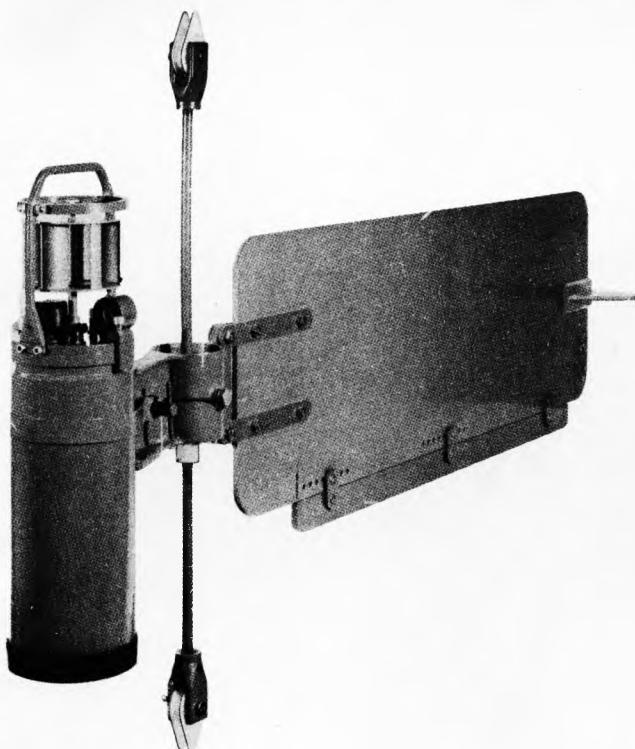


Sl. 32. Električni strujomjer

Fotoelektrični strujomjeri u određenim vremenskim razmacima snimaju na film podatke o smjeru i brzini morske struje. Rade automatski, a kao izvor energije služe im baterijski ulošci od 1,5 V.

Elektronički strujomjeri novijeg su datuma i danas već postoji mnogo različitih tipova. Uredaj za registriranje sastoji se od integriranih tiskanih strujnih krugova koji se mogu lako zamjeniti kada se pokvare, ne zauzimaju mnogo prostora, potrošnja električne energije je mala, a kao izvor električne energije služe baterijski ulošci. Mogu raditi nezavisno i više od godinu dana pa su, osim što mjere smjer i brzinu morske struje, opremljeni mernim senzorima, npr., za slanost, električnu provodnost, dubinu, brzinu zvuka, temperaturu i dr. Podaci se zapisuju na magnetsku vrpcu, a pomoću akustičkog predajnika i hidrofona ili radija podaci se mogu prenositi registratoru na brodu ili udaljenom sabiralištu.

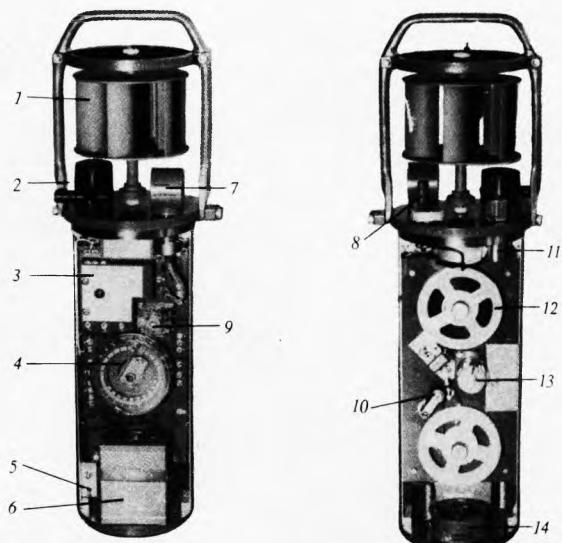
Elektronički strujomjer, prikazan na sl. 33 i 34, mjeri osim smjera i brzine morske struje također i temperaturu mora, električnu provodnost morske vode i dubinu na kojoj se nalazi. Podatke bilježi na magnetsku vrpcu u vremenskim razmacima koji mogu iznositi 0, 5, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 60 i 180 minuta. Interval mjerena postavlja se ručno na regulatoru kvarcnog sata. Taj se strujomjer upotrebljava do dubine od 6000 m. Do dubine od 800 m izmjereni se podaci mogu pomoći akustičkog predajnika i hidrofona direktno prenositi registratoru na brodu. Ako je strujomjer preko kabela spojen s radio-uređajem automatske strujomjerne ili oceanografske stанице, podaci se mogu primati i u udaljenim sabiralištima na kopnu. Za napajanje strujomjera električnom energijom služe baterije od 9 V.



Sl. 33. Elektronički strujomjer

Brzine struje mjeri se rotorom smještenim na vrhu uređaja za registriranje. Okretaji rotora prenose se magnetski na elektronički brojač koji u mernom intervalu integriра broj okretanja rotora i daje njegovu srednju vrijednost. Merno područje brzine morskih struja iznosi od 2,5 do 250 cm/s, s točnošću ± 1 cm/s. Smjer morske struje bilježi se magnetskim kompasom koji pokazuje trenutni položaj tijela strujomjera. Usmjerivač (fiksno kormilo) postavlja strujomjer u smjer struje. Temperaturu mora mjeri termistor koji je u izravnom kontaktu s morskom vodom. Merno područje temperature mora iznosi od -2°C do $+36^{\circ}\text{C}$, s točnošću $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$. Senzor za električnu provodnost morske vode sastoji se od induksijske ćelije bez elektroda,

s mernim rasponom od 0...70 mS/cm. Senzor za mjerjenje tlaka, tj. dubine, sastoji se od potenciometra spojenog na Bourdonovu cijev.



Sl. 34. Uredaj za registriranje elektroničkog strujomjera. 1 rotor, 2 akustički predajnik, 3 kvareni sat, 4 pogon magnetske vrpcu, 5 prekidač, 6 baterija, 7 senzor provodnosti vode, 8 senzor temperature, 9 birač kanala, 10 magnetska glava, 11 senzor dubine, 12 magnetska vrpca, 13 motor, 14 kompas

Elektromagnetski strujomjeri rade na principu mjerena napona što ga inducira kretanje morske vode kao provodnika u Zemljinoj magnetskoj polju.

Ultrazučni strujomjeri mjeri vrijeme koje je potrebno da ultrazvuk prevali put između dva piezoelektrična prijenosnika što ga čine dvije pravokutne mjerne osi. Prijenosnici sinhronizirano emitiraju impulse u nizu, frekvencije 5 MHz. Malo elektroničko računalo obavlja proračune, pa se na prijamniku dobiva iznos brzine i smjer struje u moru. Drugi tip ultrazučnog strujomjera mjeri brzinu strujanja tekućine uzduž putanje akustičkog vala visoke frekvencije. Brzina strujanja odredi se Dopplerovim efektom koji se ogleda u razlici visine tona jeke između emitiranog i primljenog zvučnog vala.

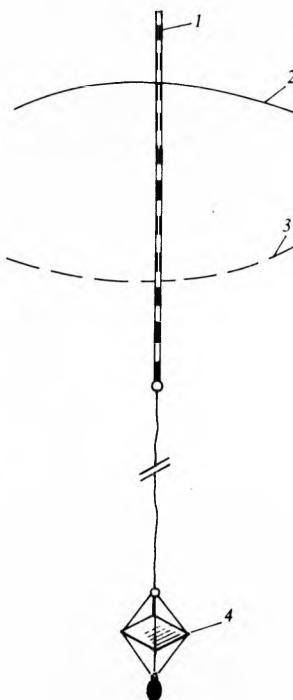
Instrumenti za mjerene morskih valova mjeri dizanje i spuštanje morske razine, ili promjenu tlaka ispod morske razine. U prvu grupu spadaju različite naprave za optičko viziranje valova, uređaji za stereofotogrametrijsko mjerene valova i površinski valografi. U drugoj su grupi hidrostatski i ultrazučni valografi.

Optičko viziranje valova. Ako je more uz obalu plitko, za optičko viziranje valova s kopna služi *graduirani stup* zabijen u morsko dno. S kopna se pomoću dalekozora očitava na skali graduiranog stupa maksimalna i minimalna morska rjava, što daje visinu vala. Ako se prolaz valova uz graduirani stup snima filmskom kamerom, može se iz snimaka točno odrediti duljina, visina, perioda i brzina valova. Na dubokom moru, umjesto stupa zabijenog u dno, upotrebljava se *plutajuća vertikalna graduirana letvica* kojoj je uronjeni kraj vezan dugom žicom za balastnu ploču (sl. 35). Balastna ploča održava letvicu da stalno pluta na istoj visini iznad morskog dna. Mjerene valove optičkim viziranjem takve letvice manje je točno, jer se letvica na valovima ipak manje ili više giba.

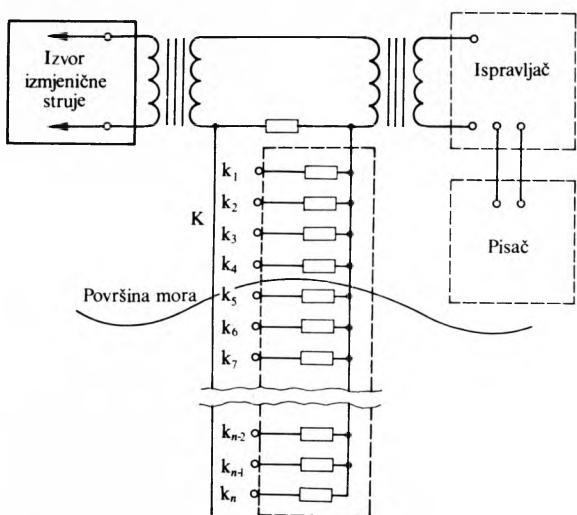
Karakteristike morskih valova mogu se odrediti i na osnovi stereofotogrametrijskih snimaka morske površine. Snima se s palube broda ili iz aviona (v. Fotogrametrija, TE 5, str. 588).

Električni površinski valograf ima kao senzor niz električnih kontakata $k_1, k_2 \dots k_n$ i zajedničku elektrodu K , koji su postavljeni na vertikalnom nosaču nepomično usidrenom ili zabijenom u morsko dno. Električni kontakti uključeni su u otpornu mrežu u kojoj su vrijednosti otpornika tako odabrane da se

struja između zajedničke elektrode K i kontakata k pojačava proporcionalno broju kontakata uronjenih u vodu (sl. 36). Da bi se spriječila polarizacija kontakata, otporna se mreža napaja izmjeničnom strujom. Prolazom morskog vala mijenja se broj uronjenih kontakata, a time i jakost struje u mreži. Izmjenična struja što teče u senzorskom krugu ispravlja se i bilježi na pisaču kao krivulja koja u određenom mjerilu prikazuje konturu vala.



Sl. 35. Graduirana letva za mjerenje visine valova na dubokoj vodi. 1 graduirana letva, 2 kontura valnog brijege, 3 kontura valnog dola, 4 balastna ploča

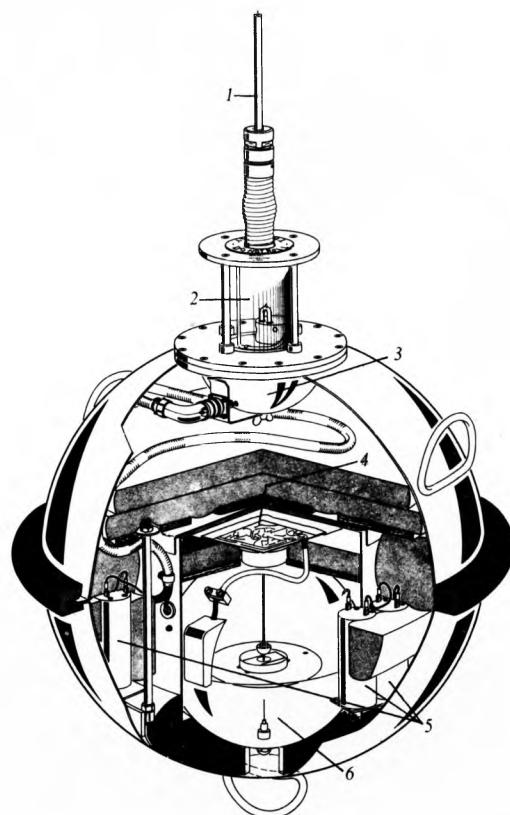


Sl. 36. Shema električnog površinskog valografa

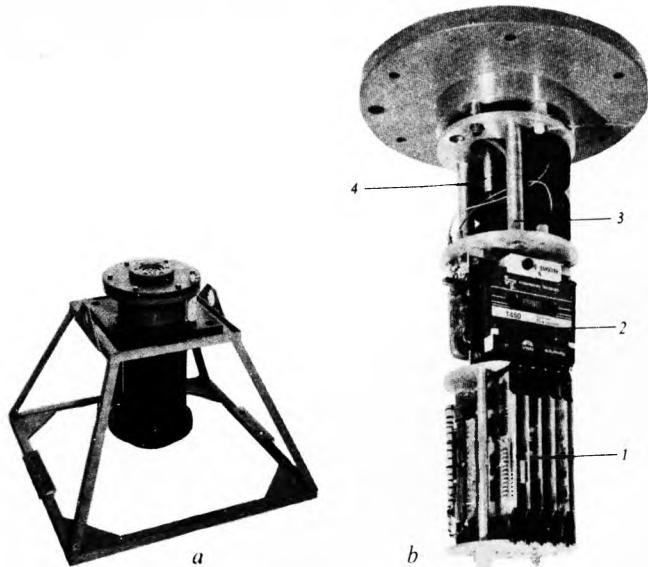
Drugi tip površinskog valografa smješten je u usidrenoj plutači koja slijedi vertikalno gibanje morske površine (sl. 37). Pomoću akcelerometra mjeri se visina dizanja i spuštanja plutače, pa se ti podaci radijem prenose na frekvencijskom području 27,5..28 MHz do prijamnog registratora na kopnu ili brodu. Na regulatoru se postavlja željeni interval mjerjenja i trajanje prijama (5, 10, 20 i 40 minuta), ali se podaci mogu primati i neprekidno. Električnu energiju za mjerne i radio-uređaje daju baterije kapaciteta dovoljnog za 9 mjeseci neprekidnog rada.

Hidrostatski valografi postavljaju se na morsko dno, obično na dubinu do 20 m. Mjere hidrostatski tlak koji je proporcionalan visini stupca vode iznad valografa. Zbog vertikalnog

gibanja morske površine mijenja se hidrostatski tlak na senzoru valografa, pa se iz izmjerjenih vrijednosti tlaka, pomoću jednadžbi hidromehanike, izračuna duljina, visina, perioda i brzina vala. Hidrostatski valograf prikazan na sl. 38 bilježi izmjereni tlak na magnetsku vrpcu, a kao izvor energije služe mu alkalične baterije.



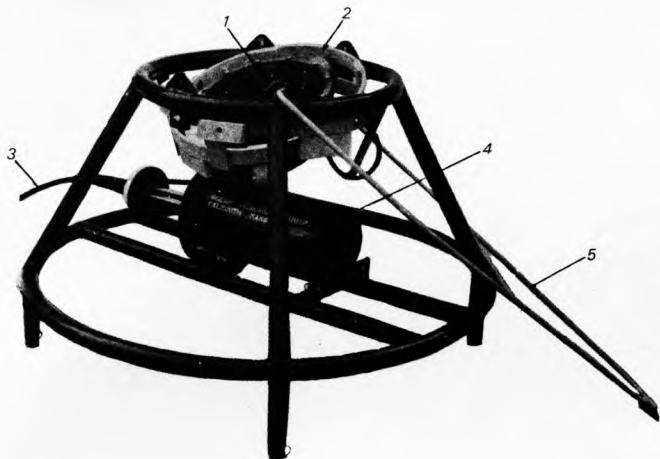
Sl. 37. Presjek valografske plutače. 1 antena, 2 svjetiljka, 3 odašiljač, 4 električni sklop, 5 baterije, 6 akcelerometar



Sl. 38. Hidrostatski valograf. a valograf s okvirom za postavljanje na morsko dno, b regulator valografa. 1 prekidač, 2 magnetska vrpca, 3 baterije, 4 senzor tlaka

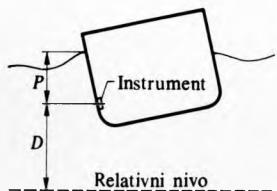
Ultrazvučni valografi mijere vrijeme potrebno da emitirani ultrazvučni signali stignu do morske površine i da se reflektirani kač jeka vrate u prijamnik valografa. Takav valograf može se smjestiti na morsko dno ili na fiksnu visinu iznad morske površine, a kabelom je vezan s izvorom energije i ure-

đajem za registriranje na kopnu ili brodu. Prolaskom morskih valova mijenja se duljina putanje zvuka, što grafički bilježi registrator. Zabilježena krivulja predstavlja u određenom mjerilu oblik morskog vala. Na sl. 39 prikazan je tip podvodnog ultrazvučnog valografa koji radi na frekvenciji od 200 kHz, a postavlja se na dubine do ~600 m.



Sl. 39. Podvodni ultrazvučni valograf. 1 odašiljač i prijamnik ultrazvučnog signala, 2 kardanski okvir, 3 spojni kabel izvora energije i registratora, 4 elektronički sklop, 5 poluže za dizanje instrumenta

Brodske valografe. Brodovi za oceanografska i meteorološka mjerena često su opremljeni brodskim valografovima. Jedan od najpoznatijih tipova jest brodska valograf J. Tuckera (1956. god.) smješten na podvodnom dijelu brodskog boka. Taj se valograf sastoji od tlakomjera koji mjeri hidrostatski tlak, tj. visinu stupca vode iznad otvora valografa, i akcelerometra koji mjeri vertikalno valovima prouzročeno gibanje broda od neke referentne razine ispod brodske kobilice (sl. 40). Na osnovi tih dvaju podataka elektronički analizator daje krivulju vala kao funkciju vremena.



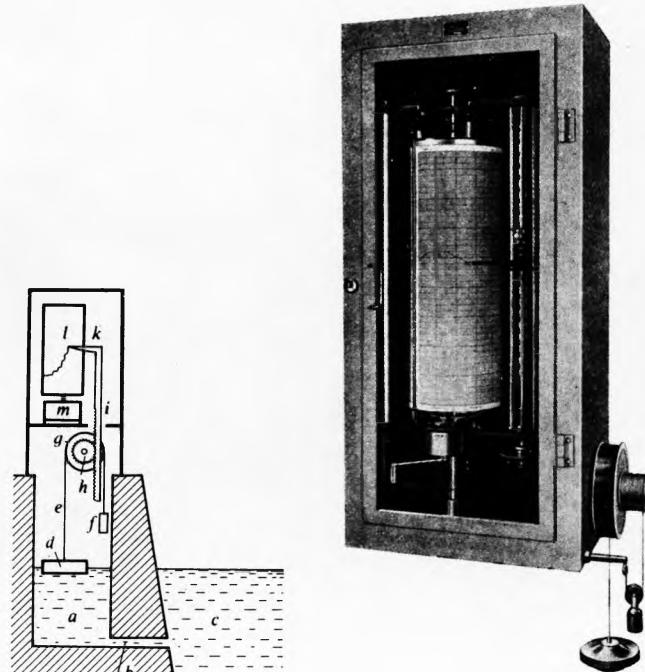
Sl. 40. Princip registriranja valova brodskim valograforem

Instrumenti za mjerjenje morskih mijena (plime i oseke) automatski i neprekidno bilježe visinu morske razine kao funkciju vremena, a nazivaju se mareografi. Razvrstavaju se na mareografe s plovkom (stalne i prijenosne) i podvodne hidrostatske mareografe.

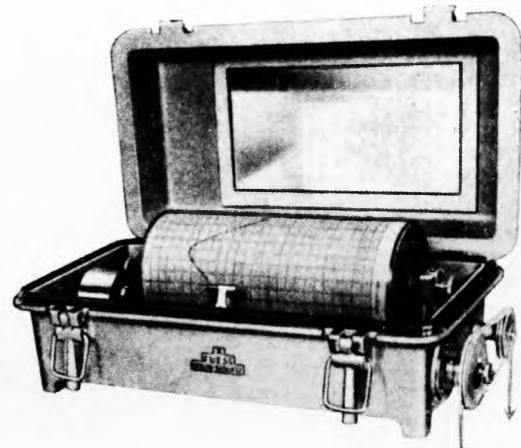
Stalni mareograf s plovkom smješten je na obali u kućici koja je preko podzemne cijevi vezana s morem. Takvi su mareografi predviđeni za dugotrajna mjerena u sklopu mreže mareografskih stanica na obali. Prijenosni mareografi konstruirani su tako da se mogu lako postaviti, skinuti i prenositi s jednog mesta na drugo, manjih su dimenzija, a postavljaju se u montažnu kućicu koja je preko plastične cijevi vezana s morem.

Princip rada stalnog mareografa s plovkom prikazan je na sl. 41. Vertikalni kanal *a* vezan je s otvorenim morem *c* preko cijevi *b*. Presjek cijevi *b* mora biti malen s obzirom na vertikalni kanal *a* (približno 1 : 1000) da bi se spriječio utjecaj valova na razinu vode u vertikalnom kanalu *a*. Plovak *d* slijedi promjene morske razine u kanalu *a* i prenosi ih na kolo *g* preko žice *e* koju drži napetom protuteg *f*. Okretanje kola *g* prenosi se preko zupčanika *h* na nazubljenu šipku *i* koja pretvara kružno gibanje kola u vertikalno gibanje pisaljke *k*. Pisaljka bilježi krivulju morskih mijena na papiru obavijenom oko valjka

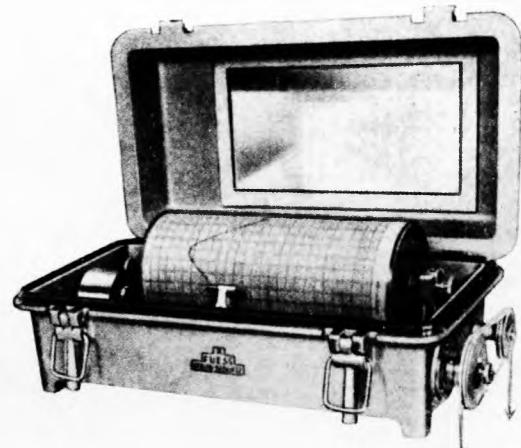
l što ga satni mehanizam *m* okreće jednolikom brzinom (sl. 42). Promjenom zupčanika *h* može se registrirati krivulja morskih mijena u različitim mjerilima (1 : 2, 1 : 5, 1 : 10 ili 1 : 20), a i brzina vrtnje valjka može se regulirati tako da valjak napravi puni krug u jednom danu ili u sedam dana.



Sl. 41. Shema stalnog mareografa s plovkom



Sl. 42. Registrator stalnog mareografa

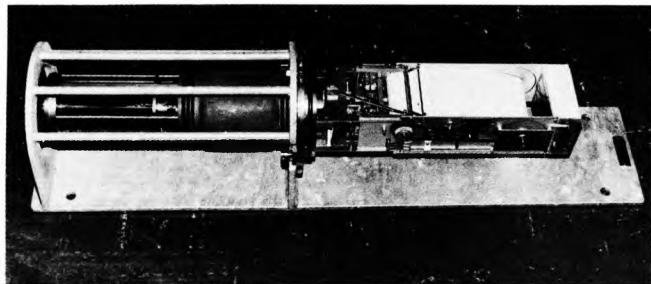


Sl. 43. Prijenosni mareograf s plovkom i horizontalnim valjkom

Na sl. 43 prikazan je prijenosni mareograf s plovkom i horizontalnim valjkom. Vertikalni pokreti plovka prenose se na vreteno po kome klize kolica s perom.

Podvodni hidrostatski mareografi upotrebljavaju se za mjerena daleko od obale. Obično se položu na morsko dno, a mogu se pričvrstiti i uz nogu platforme za bušenje. Mjere promjene hidrostatskog tlaka vodenog stupca, nastale promjenom razine morske površine zbog morskih mijena. Ti su mareografi mehanički ili elektronički, a podatke bilježe grafički, snimaju na magnetsku vrpcu, emitiraju pomoću radija, ili odašilju preko kabela registratoru na kopnu ili na brodu. Mehanički hidrostatski mareograf (sl. 44) sastoji se od hidrostatskog mijeha s opružnim uređajem, grafičkog pisača, satnog mehanizma koji uključuje i isključuje uređaj za registriranje te regulira kretanje registratorskog papira i rad označivača vremena. Svi dijelovi smješteni su u vodonepropusno kućište. Hidrostatski mijeh s prednaponskim oprugama smješten je u valjku od specijalne plastike

koji je ispunjen glicerinom. Mechanizam za registriranje sastoji se od električnog sata, pisaljke, motora koji pokreće papir i navoštenog papira. Promjene hidrostatskog tlaka prenose se preko gumene navlake na glicerin i zatim na hidrostatski mijeh. Pomaci hidrostatskog mijeha prenose se mehanički na pisaljku koja na navoštenom papiru ucrtava krivulju. Svakih 5 minuta satni mehanizam uključuje uređaj za registriranje i aktivira vremenski označivač koji na papiru načini oznaku vremena u određenim vremenskim terminima tokom jednog dana. Svaka 5-minutna oznaka morskih mijena, zabilježena na registratorskom papiru, ima duljinu od 0,9 mm. Taj se tip mareografa može upotrebljavati do dubine od 120 m, a 7 baterija od 1,5 V omogućuje da nezavisno radi 20 dana.

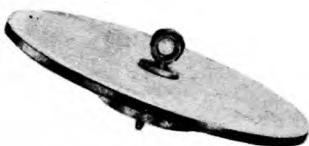


Sl. 44. Mehanički podvodni hidrostatski mareograf

Elektronički prijenosni mareograf sastoji se od podvodnog uređaja za mjerjenje, koji je kabelom vezan za plutaču s antenom, i prijamnog uređaja s registratorom na brodu ili na obali. Za mjerjenje služi veoma točan piezoelektrični tlakomjer. Izlaznim signalom iz mjernog uređaja modulira se radio-signal i prenosi preko kabela do plutače sa VHF-antenom. Podvodni je uređaj smješten u poseban okvir i postavljen na morsko dno. Može raditi nezavisno 30–35 dana. Prijamni uređaj na brodu ili kopnu povezan je s pisačem, a prima podatke s udaljenosti do 15 km. Takav tip mareografa može bilježiti podatke i na magnetsku vrpcu ili pomoću ugrađenog grafičkog pisača.

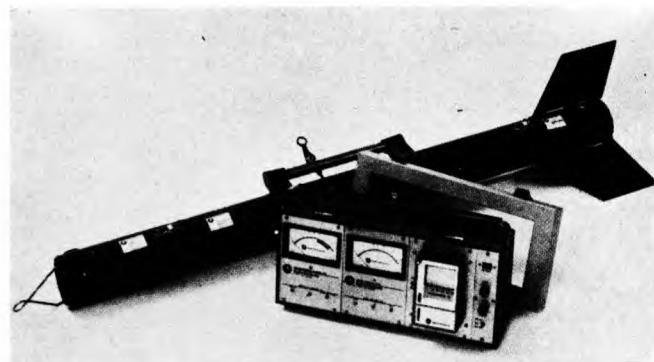
Instrumenti za mjerjenje optičkih svojstava mora mjeri prozirnost morske vode u različitim spektralnim područjima, koeficijent apsorpcije i rasipanje svjetla u moru, te svjetlosne uvjete na različitim dubinama mora, što je važno za biološke uvjete života u moru. Optička svojstva mora pokazuju prisutnost i raspodjelu planktona i biološke produkcije u moru, a također su važna i za podvodna snimanja, podvodnu televiziju, ronioce, podvodne radove i sl.

Prozirnost mora još se uviјek određuje i subjektivnim mjerjenjem Secchijevom pločom, a boja mora prema Forel-Uleovo skala. Secchijeva ploča, promjera 300 mm, opterećena je olovnim utegom i obojena bijelom bojom (sl. 45). Na konopu, na kojemu su označeni decimetri i metri, Secchijeva ploča se spušta na zasjenjenoj strani broda, tako da Sunčev svjetlo reflektirano s morske površine ne zasljepljuje osmatrača. Ploča se spušta sve dok se u dubini ne izgubi iz vida. Graničnom dubinom, tzv. dubinom prozirnosti, na kojoj se ploča gubi iz vida definira se relativna prozirnost mora.

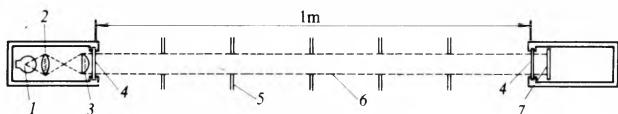


Sl. 45. Secchijeva ploča

Prozirnost mora mjeri se i objektivno električnim instrumentima. Jedan od tipova takva instrumenta za mjerjenje opsegao je vidljivosti u moru prikazan je na sl. 46. Sastoji se od podvodnog mjernog uređaja, palubnog registratora i kabala. Mjerni elementi podvodnog uređaja smješteni su na krajevima plastične cijevi, i to na jednom su kraju izvor svjetlosti s optičkim kondenzorom, lećom objektiva i oknom, a na drugom je kraju foto-



Sl. 46. Instrument za mjerjenje propusnosti svjetla



Sl. 47. Shema podvodnog mjernog elementa propusnosti svjetla, s mjernom linijom dugom 1 m. 1 izvor svjetla, 2 kondenzor 3 leća objektiva, 4 okno, 5 svjetlosne pregrade, 6 svjetlosni put, 7 fotočelija

ćelija koja mjeri intenzitet upadnog svjetla (sl. 47). Mjerna linija, tj. duljina cijevi između mjernih elemenata, iznosi 10 ili 100 cm. Cijev je tako izradena da voda slobodno prolazi između dva krajnja mjerna elementa i kroz mjernu liniju na kojoj se određuje propusnost svjetla. Svjetlosna zraka odlazi od izvora svjetlosti kroz mjernu liniju do fotočelije na drugom kraju cijevi. Propusnost svjetla T izražava se u postocima i definira je omjer intenziteta svjetla I_2 na oknu fotočelije i intenziteta svjetla I_1 na oknu izvora svjetlosti

$$T = \frac{I_2}{I_1} \cdot 100. \quad (6)$$

Izmjerene vrijednosti propusnosti svjetla T povezane su s koeficijentom attenuacije eksponencijalnom jednadžbom

$$T = e^{-kd},$$

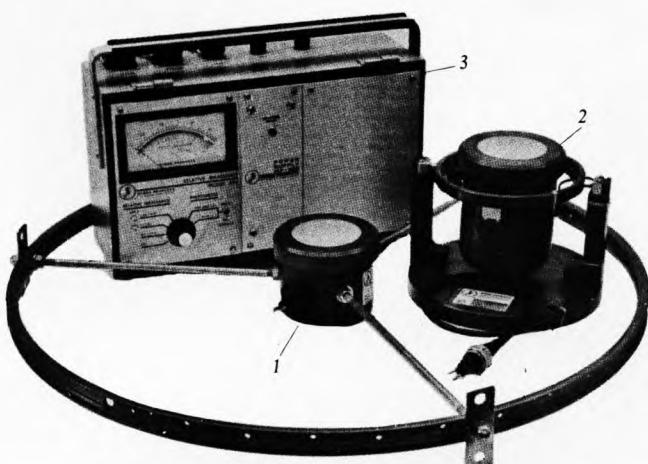
gdje je d duljina mjerne linije.

Instrument se napaja ili istosmjernom strujom napona 12 V ili izmjeničnom strujom napona 115, odnosno 220 V. Upotrebljava se standardno do 300 m dubine mora, a opseg mjerjenja propusnosti svjetla iznosi od 0 do 100%.

Boja mora određuje se pomoću kromatske Forel-Uleove skale, koja je ostvarena 21 cjevcicom s tekućinama različitih nijansi plave, zelene, žute i smeđe boje. Boja mora odredi se tako da se Secchijeva ploča uroni za polovicu iznosa dubine prozirnosti, pa se boja ploče u moru uspoređivanjem definira prema najsljčnijoj boji Forel-Uleove skale.

Boja mora mjeri se i fotoelektričnim instrumentima. Prolaz (prelamanje) bijele prirodne svjetlosti mjeri se bez upotrebe filtera pomoću apsorpciometra, kao npr. Spekkerovim fotoelektričnim apsorpciometrom, koji mjeri apsorpciju svakog dijela spektra Sunčeve svjetlosti nakon prelamanja kroz ispitivanu uzorak morske vode. Spektrofotometar mjeri intenzitet samo dijelova svjetlosnog spektra nakon što svjetlo prođe kroz ispitivani uzorak.

Svetlotomjeri (fotometri) služe za mjerjenje količine i rasporeda valnih duljina Sunčeva zračenja u moru (sl. 48). Sastoje se od palubnog pokazivača, podvodne i palubne mjerne ćelije, a neki imaju i albedo ćeliju za mjerjenje svjetla odbijenog od morske površine. Palubna fotočelija služi za mjerjenje svjetla na morskoj površini, a podvodna fotočelija mjeri intenzitet svjetla na različitim morskim dubinama. Uspoređivanjem osvijetljenosti na morskoj površini i na različitim dubinama dobije se koeficijent apsorpcije svjetla na pojedinim dubinama. Ako se pri tom usporede rezultati mjerena dobiveni filtrima različitih boja,



Sl. 48. Podvodni svjetlomjer. 1 podvodna fotoćelija, 2 palubna fotoćelija, 3 palubni pokazivač

može se odrediti koeficijent apsorpcije po dijelovima svjetlosnog spektra za pripadne morske dubine.

Pobliže o fotometrijskim postupcima v. *Fotometrija*, TE 5, str. 611.

PRIMJENA OCEANOGRAFSKIH ISTRAŽIVANJA

Stalan porast stanovništva, prenapučenost i urbanizacija, te ograničene rezerve energije i ostalih prirodnih bogatstava na kopnu ozbiljan su problem današnjeg svijeta. Najmanje dvije trećine čovječanstva slabo je hranjeno, a oko 500 milijuna ljudi pati od različitih bolesti zbog nedostatka proteina. Zbog toga se pomorske zemlje, specijalizirane organizacije UN i druge međunarodne organizacije veoma trude i ulažu novac za istraživanje mora i oceana kao velikih izvora neiskorištene energije, hrane, vode i minerala.

Mora i oceani važni su transportni putovi, služe za odlaganje industrijskih i ostalih otpadaka, za rekreaciju i odmor, a isto su tako važni i za vojsku. More svojim biološkim, kemijskim i mehaničkim djelovanjem često nаносят štetу brodovima, pomorskim građevinama i obalama, ugrožavajući ponekad i život ljudi. O svemu tome oceanografija daje osnovne podatke da bi inženjeri koji rade na iskorištanju mora mogli doći do najboljih praktičnih rješenja.

Hrana iz mora. More zauzima veću Zemljinu površinu nego kopno, pa su i izvori hrane u moru potencijalno veći nego na kopnu. Ipak se ti izvori hrane u moru malo, a često i neracionalno iskorišćuju. Oceanografska istraživanja mogu mnogo pomoći da se poveća ulov ribe, poboljša i proširi umjetni uzgoj ribe, i da se morska vegetacija više upotrebljava za ljudsku i životinjsku hranu.

Riba iz mora danas osigurava ~3% ukupne količine svih proteina potrebnih za ljudsku prehranu i ~15% životinjskih proteinova. Za mnoge narode riba je bila i jest jedini izvor proteina. Oko 60% ulova ribe troši se izravno za prehranu, dok se ostatak prerađuje u riblje brašno, ulje, gnojivo i sl., te upotrebljava u različite svarhe. Danas se u svijetu iz mora dobiva ~70 milijuna tona hrane, a od toga 90% čine različite vrste riba.

Najviše svjetskog ulova ribe dolazi iz obalnih područja. Na ta područja otpada ~90% produkcije organske tvari koja služi ribama za hranu. Ostale zone bogate ribom nalaze se u ekvatorijalnom pojusu i u vodama Antarktika. Prema količini ulova na prvom mjestu u svijetu je Japan, zatim slijede SSSR, Kina, Norveška, SAD i druge zemlje.

Iako hrana iz mora (riba, školjke, alge) spada u izvore koji se obnavljaju, zbog neracionalnog iskorišćivanja i pomora uzrokovanih najčešće onečišćavanjem mora, može doći do neslaštice. Zato se u posljednje vrijeme razvija umjetan uzgoj hrane iz mora, tj. marikultura ili akvakultura. Riba se umjetno

uzgaja u prirodnim ili umjetnim bazenima, a glavni su problemi kako čuvati morskou vodu od onečišćenja i obraniti ribe od parazita. Osim toga, različite vrste riba različito podnose uvjete umjetnog uzgoja, a problem je i dobivanje kvalitetne riblje mlađi. Dosadašnji uspjesi ohrabruju, pa se neke vrste riba već proizvode u komercijalnim količinama, npr. u Japanu, Kini, Norveškoj, SAD, Francuskoj. Osobito su dobri rezultati postignuti u uzgoju školjaka (kamenice, dagnje) u Francuskoj, Japanu, Južnoj Koreji, Italiji i u nekim drugim pomorskim zemljama. U Japanu su postignuti dobri rezultati u uzgoju i industrijskoj preradbi različitih vrsta algi koje se jedu svježe ili konzervirane, a bogate su jodom, bromom, alginom, klorofilom i drugim vrijednim sastojcima.

U nas se također mnogo trudi i ulaže novac u marikulturu (Rovinj, Zadar, Šibenik, Split, Mali Ston). Poznata su uzgajališta školjaka, kamenica i dagnji u Malostonskom zaljevu i Limskom kanalu. U planu je povećanje kapaciteta za uzgoj ribe i školjaka jer za to postoje objektivno povoljni uvjeti.

Minerali iz mora. Poslije drugoga svjetskog rata veoma je porasla potražnja za mineralnim sirovinama, pa se u rudarskoj industriji počela razmatrati mogućnost kako iskoristiti siromašna i nekonvencionalna nalazišta rude. Rezultati oceanografskih istraživanja pokazali su da morska voda i morsko dno sadrže velike zalihe različitih minerala i metala, i da bi se razvojem prikladne tehnologije moglo ekonomično iskorišćivati to prirodno bogatstvo. U tabl. 1 prikazane su procijenjene zalihe metala otopljenih u morskoj vodi i sadržanih u sloju sedimenta debljine 1 m na dnu Tihog oceana.

Tablica 1
PROCIJENJENE KOLIČINE METALA U MORSKOJ VODI I MORSKOM SEDIMENTU
(u tonama)

	Mangan	Bakar	Nikal	Kobalt
Otopljen u morskoj vodi	$3 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^9$	$0,8 \cdot 10^9$
Sadržano u gornjem sloju sedimenta debljine 1 m u Tihom oceanu	$4 \cdot 10^{11}$	$8,8 \cdot 10^9$	$16,4 \cdot 10^9$	$5,8 \cdot 10^9$

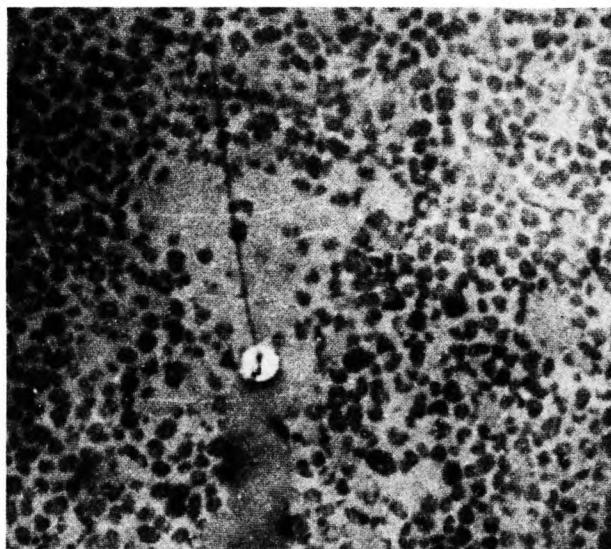
Tri su osnovne vrste izvora minerala u moru. To su minerali otopljeni u morskoj vodi, minerali u sloju sedimenta na morskom dnu i konsolidirana ležišta minerala ispod morskog dna. Iako se danas minerali dobivaju iz svih tih triju izvora, ipak su još veoma malo iskorišćene stvarne mogućnosti što ih pruža golemi morski prostor.

U morskoj su vodi otopljeni različite mineralne soli i metali (v. *Kemijski elementi*, TE 7, str. 54, tabl. 3). Još se od davnine u solanama proizvodi obična sol (NaCl) isparivanjem morske vode. Po količini i vrijednosti obična je sol danas najvažniji mineral dobiven iz morske vode. Također se iz morske vode industrijski dobivaju soli magnezija i broma precipitacijom i filtracijom. Tako se, npr., dobiva 75% magnezija u SAD. Ostale tvari otopljeni u morskoj vodi još se industrijski ne iskorišćuju zato što je koncentracija otopine suviše niska za ekonomičnu proizvodnju, ili tih tvari ima u dovoljnim količinama na kopnu. Inače, u laboratorijima su razvijeni i drugi postupci za dobivanje minerala i metala iz morske vode, kao što su elektroliza, elektrodijaliza, adsorpcija, izmjena iona, kelacija, oksidacija, klorinacija, ekstrakcija otapalima itd., ali svi su ti postupci još uvijek suviše složeni i skupi za industrijsku primjenu.

Sediment na morskom dnu sadrži različite mineralne i organske sastojke. Sastav i fizikalne karakteristike sedimenta variraju prema dubini mora, udaljenosti od kopna, načinu na koji se sediment stvara itd. U priobalnom području, gdje su dubine mora relativno male, najveći dio sedimenta nastaje taloženjem materijala dopavljenog s kopna i erozijom obala, a na velikim dubinama, daleko od kopna, sediment je uglavnom nastao precipitacijom u moru, raspadanjem stijena morskog dna i djelovanjem podmorskih vulkana.

Danas se sediment vadi samo u priobalnom području, i to radi dobivanja mineralnih sirovina i građevnog materijala. U tu svrhu služe različiti tipovi plovnih bagera (v. *Bagerovanje*, TE 1, str. 646), a najveća dubina na kojoj mogu raditi moderni usisni bageri iznosi do 90 m. Najviše se vadi šljunak i pijesak (Engleska, SAD), zatim teški mineralni pijesak: ilmenit, rutil i cirkon (Australija), a iz sedimenta bogatog kositrom dobiva se u Tajlandu i Indoneziji $\sim 10\%$ svjetske proizvodnje kositra. Iz sedimenta se u Južnoafričkoj Republici vade dijamanti, na Aljasci zlato, u Japanu željezna ruda, a u SAD i Islandu vapnenac nastao taloženjem ljuštura školjki, što služi za proizvodnju portlandskog cementa.

Novija oceanografska istraživanja otkrila su bogata nalazišta manganskih i feromanganskih nodula (gruda) na morskem dnu velikih dubina, osobito u Tihom oceanu (sl. 49 i 50). Ti noduli nastaju pelagičkom sedimentacijom, a sadrže velike količine mangana, željeza, nikla, kobalta i bakra. Sada se intenzivno radi na razvoju tehnike i tehnologije koja će omogućiti industrijsko iskorišćivanje sedimenta s tako velikih morskih dubina.



Sl. 49. Manganski noduli snimljeni podvodnom kamerom na 5000 metara morske dubine

Konsolidirana ležišta. Iz konsolidiranih ležišta u stijeni morskog dna u priobalnom području i kontinentalnom rubu danas se industrijski dobivaju minerali, mineralna goriva i zemni plin, a u razvoju je tehnika za rudarske radove i bušenje nafte na većim morskim dubinama.

Minerali iz konsolidiranih podmorskih ležišta dobivaju se zasad jedino u područjima neposredno uz obalu ili na mjestima gdje je dubina mora vrlo malena, i to tako da se s kopna ili nasutog umjetnog otoka probije okno do mineralnog ležišta. Tako se dobiva ugljen u Engleskoj, Novoj Škotskoj, Japanu i Tajvanu, željezna ruda u Finskoj, a sumpor u SAD. U uspostavljenju rudarskom proizvodnjom na kopnu, rudarska proizvodnja iz podmorja predstavlja tek neznatan dio zato što je ograničena samo na obalna područja u kojima na čitavom svijetu danas postoji manje od 100 podmorskih rudnika. Dokazano je da na većim i velikim dubinama mora u stijeni morskog dna postoje velike zalihe minerala i ruda. Da bi se u budućnosti moglo iskoristiti te zalihe, već se radi na razvoju novih rudarskih metoda, od kojih se neke zasnivaju na primjeni podmorskih i podzemnih nuklearnih eksplozija.

Od svih minerala i mineralnih goriva što se dobivaju iz mora i podmorja danas je ekonomski najvažnije dobivanje sirove nafte i zemnog plina iz podmorskih bušotina. Od dokazanih svjetskih rezervi nafte u podmorju se nalazi $\sim 22\%$, što iznosi $\sim 21 \cdot 10^9$ t, a pretpostavlja se da na Zemlji postoji još najmanje $135 \cdot 10^9$ t nafte u potencijalnim i neotkrivenim ležištima, od toga $\sim 60\%$ na kopnu, a $\sim 40\%$ (ili $\sim 54 \cdot 10^9$ t) u podmorju. Od dokazanih svjetskih rezervi zemnog plina u podmorju se

nalazi $\sim 10\%$, što iznosi $\sim 7000 \cdot 10^9$ m³. Sva poznata podmorska nalazišta nafte i zemnog plina nalaze se u priobalnim područjima, na kontinentalnom rubu i ispod kontinentalnog ruba do dubine mora ne veće od 1000 m, a neizvjesno je da li takva nalazišta postoje i na velikim morskim dubinama.



Sl. 50. Manganski nodul izvaden u sjevernom dijelu Tihog oceana

Prva platforma za podmorsko bušenje nafte (v. *Nafta*) postavljena je 1945. god. uz obalu Louisiane (SAD). Od tada pa do danas porasla je izvanredno brzo eksploracija podmorskih naftnih izvora, zahvaljujući intenzivnim istraživanjima i golemin ulaganjima kapitala u razvoj različitih tipova velikih bušačkih platformi, pripadne tehničke opreme i pratećih uređaja. Podaci o svjetskoj proizvodnji sirove nafte iz podmorskih nalazišta u razdoblju od 1970. do 1979. god. prikazani su u tabl. 2.

Najvažnija podmorska nalazišta nafte nalaze se u Meksičkom zaljevu, Perzijskom zaljevu, Sjevernom moru, Kineskom moru, te uz obale Kalifornije, Aljaske, Venezuele, zapadne Afrike, Indonezije i Filipina.

Tablica 2
PROIZVODNJA SIROVE NAFTE IZ PODMORSKIH NALAZIŠTA (U 10^6 t)

	1970.	1972.	1974.	1976.	1978.	1979.
Afrika	33,66	37,76	53,25	48,62	49,87	54,86
Sjeverna i Južna Amerika bez SAD	135,16	137,91	120,72	99,19	100,07	105,91
Azija bez SSSR	109,84	172,05	221,20	210,51	222,58	220,84
Evropa	—	1,70	3,40	27,10	71,20	97,08
Oceanija	6,50	14,92	16,93	18,00	19,11	20,09
SAD	77,79	82,33	73,47	62,35	55,91	52,46
SSSR	12,90	11,80	11,20	11,00	11,00	11,00
Svjet	375,85	458,47	500,47	476,77	529,74	562,24
% od svjetske proizvodnje	16,5	18,0	17,9	16,6	17,6	18,0

Izvor podataka: 1979 Yearbook of World Energy Statistics, United Nations, New York 1981.

Pitka voda. Mnogi dijelovi svijeta oskudijevaju u pitkoj vodi, a postojeći izvori postaju nedovoljni. Goleme rezerve vode u oceanima mogu poslužiti da se dobije pitka voda jednim od načina desalinizacije morske vode, npr. destilacijom pomoći sunčane energije, membranskim procesom, smrzavanjem i različitim drugim kemijskim, fizikalnim i električnim postupcima. U svijetu već radi mnogo tvornica za desalinizaciju morske vode, ali je proizvodnja skupa. Ako se upotrijebi nuklearna energija i ako se izgrade velike tvornice kapaciteta najmanje 100000 m³ pitke vode dnevno, te ako se iskoriste mineralne soli dobivene kao nusproizvod, može se sniziti cijena pitke vode. U Kuvajtu, gdje pogonsko gorivo nije problem, rade tvornice za dobivanje pitke vode iz mora ukupnog kapaciteta 100000 m³ dnevno, a u planu je i njihovo dalje proširivanje.

Za sada se malo iskorišćuju podvodni izvori slatke vode (vrulje) ispod kontinentalnog ruba. Isto tako u obalnim područjima morska se voda slanosti do 2% može upotrebljavati za poljoprivredu i industriju, a pomiješana sa slatkom vodom i u domaćinstvima.

Razmatraju se i mogućnosti da se pitka voda dobije iz polarnog leda. Teorijski proračuni pokazuju da bi se ekonomski isplatio iz Antarktika (gdje se nalazi ~90% od svega leda na svijetu) tegliti morem velike ledene brijege do aridnih obalnih područja u Aziji, Africi i Južnoj Americi i tamo ih otapati u pitku vodu. Također se pokušava umjetnim načinima pospješiti prirodnji ciklus isparivanja morske vode i dobiti veće količine padavina.

Izvori energije. U istraživačkim programima specijaliziranih organizacija UN i u nacionalnim programima pomorskih zemalja svestrano se ispituju mogućnosti i načini iskorišćivanja različitih izvora energije iz mora, kao što su morske mijene, struje mora, temperaturne razlike između površinskih i dubinskih slojeva morske vode, razlike u osmotskim tlakovima između morske i slatke vode, morski valovi, deuterij iz morske vode itd.

Pretvaranje energije morskih mijena u električnu energiju praktički je već ostvareno, pa na tom principu već radi jedna elektrana u Francuskoj i jedna u SSSR. Pobliže o iskorišćivanju energije plime i oseke v. *Energija i energetika*, TE 5, str. 329.

Morski valovi sadrže veoma velike količine energije. Npr. val visine 1,8 m u vodi dubine 9 m ima ~10 kW energije po metru duljine valne fronte. Energija valova već služi za pogon zviždaljke ili gonga na navigacijskim plutacaama, a u toku su istraživanja različitih načina pretvorbe energije morskih valova u električnu energiju. Nakon niza laboratorijskih ispitivanja u Japanu je 1978. god. izgrađen eksperimentalni brod Kamei kao plutajuća elektrana sa 11 generatora ukupne snage 2000 kW. Princip rada tog japanskog projekta zasnovan je na kompreziji i dekompresiji zraka u zračnim komorama u trupu broda. Kada val nailazi, morska voda u jednoj od dviju komora sabija zrak, a pri spuštanju vala u drugoj komori voda stvara podtlak. Cikličnim ponavljanjem tog procesa nastaju jaka zračna strujanja koja pokreću zračnu turbinu električnog generatora. Prednost je u tome što nema otpadnih tvari ni onečišćivanja okoliša.

Temperaturne razlike između pojedinih morskih vodenih masa također su veliki potencijalni izvor energije. Pobliže o iskorištenju unutrašnje kaloričke energije mora v. *Energija i energetika*, TE 5, str. 332.

Važan potencijalni izvor energije iz mora jesu i velike zalihe materijala za atomsku fuziju i fisiju, kao što su torij, uran i deuterij. Jedna tona morske vode sadrži 34 g deuterija. Ako se uspješno riješi konstrukcija reaktora s deuterijem kao nuklearnim fizijskim gorivom, oceani će biti praktički neiscrpan izvor tog elementa (v. *Energija i energetika*, TE 5, str. 332).

Pomorski promet. More je izvanredno važna prometnica kojom se prevozi ~70% od ukupno svih tereta u međunarodnoj robnoj razmjjeni. Ekonomičnost i sigurnost pomorskog prijevoza ovise o kvalitetu broda kao transportnog vozila i o načinu navigacije. Oceanografski podaci o morskim dubinama, morskim mijenama, valovima itd. služe projektantima za projektiranje brodova, a navigatorima da u promjenljivim meteorološkim uvjetima odaberu najpovoljniji morski put za plovidbu. Poznavanje topografije morskog dna, geoloških procesa i temperature u podmorju važno je za polaganje, održavanje i popravke podmorskih telefonskih i telegrafskih kabela.

Rekreacija i turizam. Poslije drugoga svjetskog rata naglo se razvio turizam, pa u primorskim zemljama i more služi za rekreaciju, kao što je plivanje, jedrenje, sportski ribolov, skijanje na vodi, sportovi na vodi itd. U mnogim je primorskim zemljama turizam danas važna privredna grana i velika stavka u deviznim prihodima. Međutim, izgradnjom velikih hotelskih kompleksa, kampova, marina i drugih rekreacijskih središta, osobito u blizini velikih gradova u obalnom području, teško opterećuje obalu i more, pa pri planiranju i projektiranju takvih građevina treba se posavjetovati i s oceanografima.

Zaštita mora od onečišćivanja. Oduvijek su se u more bacali različiti otpaci i smeće, što nekada nije predstavljalo neku

opasnost, osim u pojedinim velikim lukama. Danas, kad se u more odvode otpadne vode obalnih gradova i naselja, odlažu mnogi industrijski otpaci i odbacuju otrovni i radioaktivni materijali, postoji velika mogućnost da se morska voda i obale toliko onečiste da to ugrozi zdravlje ljudi i uništi ribolovna područja. Zato odluku o vrsti i količini otpadaka što se smiju bez opasnosti odlagati u more može se donesti samo na osnovi podataka o lokalnim morskim strujama i mijenama, te poznavanja faune morskog dna. Radioaktivni i otrovni otpad, zapakovan u posebne sanduke ili burad od olova i čelika, baca se u duboki ocean daleko od kopna. Ako iz bilo kojeg razloga radioaktivni materijal ipak dospije u morsku vodu, radioaktivna kontaminacija ne samo što će nanesti štetu biološkom životu u tom dijelu podmorja već preko hrane iz mora može postati opasna i za ljude.

Problem kako očuvati čistoću mora i sprječiti onečišćivanje morske vode postao je danas veoma aktualan. More se najviše onečišćuje u obalnim vodama, riječnim ušćima i područjima gdje su koncentrirana naselja i industrijski kompleksi. Glavni onečišćivači mora jesu: nafta i njeni derivati, teški metali, industrijski i kućanski otpaci, radioaktivni materijali i čvrsti otpaci.

Nafta dospijeva u more iz rafinerija, s brodova koji na moru čiste tankove goriva i maziva ili teretne tankove za naftu, iz tvornica u nepročišćenim otpadnim vodama, pri katastrofama tankera, te prirodnim dotjecanjem kroz pukotine u morskom dnu. Onečišćivanje mora naftom ima teške posljedice: zaprljaju se plaže, brodovi, čamci i ribolovni alati, a unište se ili nanesu velike štete morskim pticama, ribama, školjkama i drugim morskim organizmima.

Teški metali (olovo, krom, cink, bakar, živa, kobalt, kadmij i drugi) dolaze u more prirodnim procesima i ljudskom aktivnošću. Dva su glavna izvora onečišćivanja teškim metalima: cementna industrija, koja oslobođa velike količine žive, i bušenje za dobivanje mineralnih goriva, gdje se oslobođaju velike količine cinka. Ostali su izvori kemijska, metalurška, tekstilna i kožna industrija, industrija fotografskog materijala, ruderstvo, poljoprivreda (pesticidi i gnojiva) i procesi preradbe vode. Teški metali dospijevaju u more rijeckama, industrijskim i kućanskim otpacima te iz atmosfere, pa se talože u morskim organizmima, školjkama, ribama i na morsko dno.

Mikroorganizmi ljudskog i životinjskog podrijetla ulaze u more zajedno s otpacima bačenim u more, donose ih rijeke i padaju iz atmosfere. Kupanje u bakteriološki nečistoj morskoj vodi i hrana iz takve morske vode opasna je za ljudsko zdravlje.

Radioaktivni materijali koje čovjek dovodi u more jesu: nuklearna goriva (uran 235, plutonij 238) s brodova na nuklearni pogon i satelita, produkti fisije (stroncij 90, cezij 137, barij 140) nuklearnih eksplozija i proizvodnje energije, te oslobođeni produkti (cink 65 i željezo 55) nuklearnih reaktora i različitih oružja.

Akcije za zaštitu mora. Ekološki problemi svijeta postali su toliko ozbiljni i akutni da je 1972. god. Organizacija ujedinjenih naroda sazvala u Stockholm Konferenciju za zaštitu čovjekova okoliša radi ujedinjenja napora za zaštitu biosfere od štetnih posljedica različitih ljudskih aktivnosti. Na konferenciji je usvojen *Akcioni plan za očuvanje čovjekova okoliša* i osnovan *Program Ujedinjenih naroda za zaštitu okoliša* (United Nations Environment Programme, UNEP) kako bi se na međunarodnom planu koordinirale sve ekološke akcije. Među ostalim, na Konferenciji je dana i sljedeća definicija onečišćivanja mora: »Onečišćivanje mora nastaje kad se ljudskom djelatnošću, neposredno ili posredno, dovedu u morsku sredinu tvari ili energije, koje oštećuju izvore života, štetne su za čovjekovo zdravlje, ometaju aktivnosti na moru, uključujući i ribolov, smanjuju upotrebnu vrijednost morske vode i umanjuju privlačnost morske sredine«.

Upravni savjet UNEP prihvatio je opći program za zaštitu mora kojim se predviđa donošenje međunarodnih i regionalnih konvencija, direktiva i akcija za kontrolu onečišćivanja mora, zaštitu i upravljanje vodenim zalihama, određivanje stanja i

praćenje onečišćenosti mora, određivanje stanja i praćenje vodenih zaliha. Regionalni se projekti ostvaruju uz tehničku, finansijsku i savjetodavnu pomoć specijaliziranih agencija UN. Nosioci su znanstvenog dijela tih programa regionalne znanstvene institucije. Osim programa za druga svjetska mora i područja, 1975. god. u Barceloni je usvojen *Akcioni plan za Mediteran* na sastanku predstavnika vlada o zaštiti Mediterana. I naša je zemlja preko specijaliziranih znanstvenih ustanova aktivno uključena u taj program.

Vidi se da je oceanografija veoma važna i odgovorna za rješavanje svih pitanja vezanih uz more. Svaka pomorska zemlja veoma se trudi i ulaže novac u istraživanje i pronaalaženje praktičnih rješenja za iskorišćivanje i očuvanje mora koje ima veliko, a u budućnosti imat će još i veće značenje za čovjeka.

LIT.: V. Romanovsky, C. Francis-Boeuf, J. Boucari, La mer. Larousse, Paris 1953. — Ю. М. Шокалский, Океанография. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград 1959. — A. Defant, Physical Oceanography. Pergamon Press, Oxford 1961. — G. Dietrich, K. Kalle, General Oceanography. John Wiley & Sons, New York-London 1963. — R. W. Fairbridge, The Encyclopedia of Oceanography. Reinhold Publishing Corp., New York 1966. — L. G. Lawrence, Electronics in Oceanography. Howard W. Sams & Co., Indianapolis 1967. — Z. Vučak, S. Vukicević, Suvremeni pogledi na oceanografiju. Hidrografska godišnjak 1966, Split 1967. — J. F. Braatz, Ocean Engineering. John Wiley & Sons, New York 1968. — H. U. Sverdrup, M. W. Johnson, R. H. Fleming, The Oceans. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 1968. — M. Buljan, M. Zore-Armanda, Osnovi oceanografije i pomorske meteorologije. Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split 1971. — R. L. Trillo, Jane's Ocean Technology. Jane's Yearbooks, London 1977. — P. S. Meadows, J. I. Campbell, An Introduction to Marine Science. Blackie, Glasgow-London 1978. — E. Mann Borgese, N. Ginsburg, Ocean Yearbook. University of Chicago Press, 1978.

M. Ferenčak, Z. Vučak

OKSIDACIJA I REDUKCIJA

redoks-reakcije, složene kemijske reakcije karakterizirane promjenom oksidacijskog stupnja reagirajućih tvari.

U početku su se pod oksidacijom razumjevala reakcije s kisikom. Odатле je, prema latinskom nazivu kisika, oxygenium, i nastao taj naziv.

Kasnija spoznaja da se tim reakcijama preraspoređuju elektroni među atomima (na neki način povećava se negativni naboј atoma kisika i pozitivni naboј drugih atoma, koji se vežu s kisikom) proširila je značenje oksidacije i njoj istodobnoga suprotnog procesa na procese međuatomnog prijelaza elektrona. Pri tom je nastajanje i povećavanje negativnog, tj. smanjivanje pozitivnog naboja nazvano redukcijom. Naziv redoks-reakcije nastao je (akronimom od redukcija i oksidacija) kasnije da se istakne istodobnost oksidacije i redukcije u svakom sustavu u kojem se odvijaju procesi povezani s takvim prijelazom elektrona.

Zbog tolikog značenja prijelaza elektrona u redoks-reakcijama, za njihovo proučavanje prije svega je bitno poznavanje rasporeda elektrona.

Raspored elektrona najjednostavniji je u ionskim spojevima. Tako se, npr., kristali natrij-klorida, NaCl, smiju promatrati kao tvorevine sačinjene od iona (Na⁺ i Cl⁻), a njihovo nastajanje kao prijelaz elektrona s jednog atoma na drugi



ili prikazano ukupnom kemijskom jednadžbom



Očito je ukupni naboј reakcijom (3) nastale jedinke 0, pa je ona elektroneutralna, i kad ne treba voditi računa o prirodi veze među njenim dijelovima, smije se predočivati bez oznaka naboja njenih dijelova (NaCl).

S obzirom na mogući udjel kovalentne veze, u jedinkama kojima su elektroni u interakciji manje ili više zajednički, takav je pristup razmatranju rasporeda elektrona u molekulama više formalan. Tako se, npr., molekula ugljik(II)-oksida, CO, iako se ne smije uzeti tvorevinom od iona C²⁺ i O²⁻, formalno može predočiti kao jedinka CO⁺²⁻².

Stvarni i formalni nabojni brojevi u molekulama zajednički se nazivaju *oksidacijskim brojevima* i tada se prikazuju kao u posljednjem primjeru. Oksidacijski broj nekog atoma u molekuli određen je jednim od pravila koja je postavio L. Pauling.

Prvo je od njih, kako već slijedi iz (3), da je oksidacijski broj jednoatomnog iona u ionskom spoju jednak njegovu naboјnom broju. (Nabojni broj iona kvocijent je naboja tog iona i naboja protona.)

Prema Paulingovu pravilu oksidacijski je broj atoma u elementarnoj tvari nula.

Prema sljedećem od tih pravila oksidacijski je broj bilo kojeg atoma u kovalentnom spoju jednak naboјnom broju što bi ga taj atom imao kad bi se elektroni svih parova te veze rasporobili na elektronegativniji atom u toj vezi. Pri tom se zajednički par elektrona dvaјu atoma istog elementa dijeli na te atome.

Jedno od Paulingovih pravila za izračunavanje oksidacijskog broja služi kad nije sigurno određena struktura molekula u kojima su vezani atomi i kad su poznati oksidacijski brojevi drugih atoma u tim tvorevinama. Prema tom pravilu zbroj je oksidacijskih brojeva u elektroneutralnoj molekuli nula, a za ione jednak je naboјnom broju tih iona.

Tako se na osnovi tih pravila dobiva, npr., za kalij-klorid KCl, da dušik N₂, za magnezij-ion Mg²⁺, za metan CH₄, za ugljik(IV)-oksid CO₂, za klor-(mono)fluorid CIF, za željezo Fe, za kalij-permanganat KMnO₄, za fosfatnu kiselinu H₃PO₄, za sulfat-ion SO₄²⁻ i za sumpor(VI)-oksid SO₃.

Oksidacijski broj najelektronegativnijeg elementa, fluora, redovno je, u svim njegovim spojevima, -1, a oksidacijski broj drugog po redu na skali elektronegativnosti elemenata, kisika, u spojevima obično je -2. Izuzetak čine peroksidi i, dakako,

spojevi kisika s fluorom. Tako je, npr., MgO, Fe₂O₃, H₂O, ali H₂O₂, OF₂.

U spojevima s nemetalima oksidacijski broj vodika jest +1, a u spojevima s metalima -1. Tako je, npr., H₂S, HF, LiH.

Već prema skupini, oksidacijski su brojevi elemenata prvih triju skupina periodskog sustava skoro uvijek +1, +2 i +3. Ostali elementi većinom mogu poprimati različite vrijednosti oksidacijskih brojeva.

REDOKS-REAKCIJE

Redoks-reakcije najjednostavnije se definiraju pomoću oksidacijskog broja (kao kemijske reakcije pri kojima se mijenjaju oksidacijski brojevi atoma). U skladu s time oksidacija se može definirati kao povećavanje pozitivne, odnosno smanjivanje negativne, redukcija, obrnuto, kao smanjivanje pozitivne, odnosno povećavanje negativne vrijednosti oksidacijskog broja. Ponekad se, pri stvarnom prijelazu elektrona, smije primijeniti i tzv. elektronska definicija oksidacije i redukcije, prema kojoj je oksidacija otpuštanje, a redukcija primanje elektrona.

Ako je mehanizam kriterij klasifikacije, tom se definicijom redoks-reakcije jasno luči od ostalih kemijskih reakcija. Ostale kemijske reakcije prema toj klasifikaciji jesu reakcije promjene liganda, odnosno koordinacijskog broja (reakcije nastajanja i disocijacije kompleksa, izmjene liganda, protolitičke reakcije, reakcije popraćene taloženjem, odnosno otapanjem).

U klasifikacijama na osnovi drugih kriterija redoks-reakcije ne izdvajaju se kao posebna skupina kemijskih reakcija. Tako se, npr., s obzirom na prisutne faze razlikuju kemijske reakcije u homogenim sustavima i kemijske reakcije u heterogenim sustavima. (Homogeni sustavi su jednofazni, a heterogeni sustavi su različite kombinacije faza.) S obzirom na reaktante ili proizvode razlikuju se, npr., reakcije izgaranja (kao što su standardne reakcije u termodynamici), reakcije stvaranja (nastajanja spojeva iz elemenata u definiranim oblicima) i atomizaciju (disocijaciju na slobodne atome). U svakoj od tih skupina nalazi se poneka važna skupina redoks-reakcija. Npr. tipične redoks-reakcije u homogenim sustavima jesu ionske reakcije u otopinama, a u heterogenim sustavima reakcije izgaranja čvrstih i kapljivih goriva na zraku.

Dakako, bez obzira kojoj klasifikacijskoj skupini pripadaju, za redoks-reakcije vrijedi sve što općenito vrijedi i za ostale