

uz regeneraciju. Ne računajući količine u postrojenjima velikih potrošača, danas se u razvijenim zemljama skupi ~50%, a regenerira ~20% od ukupno iskorištenih maziva. Najčešće regeneracija maziva obuhvaća uklanjanje vode i mehaničkih primjesa, lakohlapljivih ugljikovodika, proizvoda oksidacije i aditiva, te frakcioniranje i dekoloriranje.

Tako npr. glavnina vode i mehaničkih primjesa iskorištenih motornih ulja čini 2–10% ukupne količine. Uklanja se sedimentacijom. Lakohlapljivi ugljikovodici, koji u iskorištenim motornim uljima potječu od goriva i zajedno s ostacima vode čine 1–5% od ukupne količine ulja, uklanjuju se atmosferskom destilacijom na temperaturi do 250 °C. Za uklanjanje proizvoda oksidacije i aditiva ulja se obrađuju kiselom rafinacijom ili ekstrakcijom propanom. U novije vrijeme uvodi se regeneracija tankoslojnom destilacijom da bi se uklonili proizvodi oksidacije i preostali aditivi.

Frakcioniranje je dobivenog regenerata potrebno jer mu je sastav previše složen za izravnu recirkulaciju. Provodi se u vakuumu. Njime se dobivaju jedna ili dvije frakcije niže viskoznosti i ostatak. Dekoloriranje je potrebno za dobivanje svjetlih i stabilnih ulja, a obavlja se tretmanom aktivnom zemljom. To je povezano s dispozicijom ostataka (adsorbata), pa se umjesto toga danas predlaže rafinacija hidrogenacijom. Glavna je prepreka primjeni tog postupka što je skup i što u njegovoj primjeni ima teškoća, pa se još ne upotrebljava u širim razmjerima.

Iscrpk je regeneracije iskorištenih maziva 70–85%. Ako je regeneracija bržljivo provedena, njeni proizvodi kvalitetom ne zaostaju za svježim baznim uljima i iz njih se mogu proizvoditi kvalitetna motorna, zupčanička, hidraulička i neka druga maziva ulja.

Potrošnja maziva

Ukupna potrošnja maziva u svijetu u 1980. godini iznosila je ~34·10⁶ t. Od toga otpada na Sjevernu Ameriku (SAD i Kanadu) ~29%, na Zapadnu Evropu ~17%, na socijalističke zemlje (Istočna Evropa, SSSR i Kina) i ostali svijet po 27%.

Od ukupne potrošnje maziva otpada na motorna ulja ~55%, na industrijska ulja ~27%, na procesna ulja ~9%, na ulja za zupčanike ~4%, a na mazive masti ~5%.

Tablica 14
PROIZVODNJA MAZIVA U SFRJ
(u tonama)

Vrsta maziva	1967.	1970.	1975.	1979.	1983.
Motorna ulja	44 762	58 753	86 119	119 265	122 040
Industrijska ulja i masti	42 067	48 186	68 255	103 916	115 889
Ukupno mazivih ulja i masti	86 829	106 939	154 454	223 181	237 929

U tabl. 14 vide se podaci o proizvodnji maziva u Jugoslaviji. Udio je rafinerija u proizvodnji maziva iznosio u 1983. godini: INA Rijeka 23,1%, INA Zagreb 20,5%, Energoinvest Modriča 19,4%, Naftagas Beograd 17,4%, FAM Kruševac 14,0%, Petrol Maribor 3,1% i Naftagas Novi Sad 2,5%.

LIT.: N. Plavić, S. Šneler, Priručnik za podmazivanje. Koprivnička tiskara, Koprivnica 1968. — J. O'Connor, J. Boyd, Standard Handbook of Lubrication Engineering. McGraw-Hill, New York 1968. — C. J. Bonner, Modern Lubricating Greases. Scientific Publishing Ltd., Broseley (G.B.) 1976. — J. G. Wills, Lubrication Fundamentals. Marcel Dekker Inc., New York 1980. — E. R. Booser, CRC Handbook of Lubrication, Vol I, Vol. II. CRC Press Inc., Boca Raton (Fla.) 1984. — D. Klamann, Lubricants and Related Products. Verlag Chemie, Weinheim 1984.

I. Legiša

PODMARNICA, plovilo koje može ploviti na površini i ispod površine vode, tj. koje je sposobno da samostalno zaroni, roni, po potrebi da sjedne na dno mora, izroni, te da ponavlja te radnje. Dok roni, podmornica se može kretati u

svim smjerovima, tj. istodobno ima svih šest sloboda gibanja. Roni zahvaljujući ravnoteži statičkih i dinamičkih sila što na nju djeluju.

Prema namjeni podmornica služi za vojne ili za ostale svrhe. Način na koji obavlja zadatke određuje da li je podmornica prema svojim svojstvima prava podmornica ili ronilica. Prava podmornica plove i obavlja zadatke pretežno u zaronjenom stanju, dok ronilica provodi više vremena u površinskoj plovdivbi (ili na brodu koji je prevozi do mjesta rada), a manje u ronjenju. Podmornice kojima pogon nije pomoću nuklearnog postrojenja zovu se konvencionalne podmornice.

I podmornice i ronilice imaju posadu, a zajednički se nazivaju podvodnim plovilima (sl. 1).

Prvi projekt podmornice napravio je 1578. godine engleski oficir W. Bourne, a prvu podmornicu sagradio je 1605. godine P. Magnus Pegelius. Ni o projektiranju, ni o sagrađenoj podmornici nema podataka, ali su vjerojatno obje bile od drveta obloženog masnom kožom. Nizozemski lječnik Cornelius van Drebbel u službi engleskog kralja Jamesa I sagradio je 1620. godine drvenu podmornicu koja je ronila do dubine od 3–5 m, a kretala se na vesla. Kasnije je sagradio još dvije podmornice za rušenje podvodnog dijela lukobrana eksplozivom. Nakon toga su sagradili podmornice Francuskoj De Son (1653), a u Engleskoj Symons (1747) i John Day (1773) koji se pri pokusima utopio i tako bio prva žrtva u podmorničarstvu.

Američki znanstvenik, lječnik D. Bushnell izgradio je 1776. godine podmornicu *Turtle* da bi minama napao britanske brodove. To je bila prva podmornica s metalnim trupom (limovi od mjeđi), a imala je oblik jajeta (sl. 2). Za pogon su služili ručno pokretani vodoravni i vertikalni brodski vijak. Imala je smjerno kormilo, balastne tankove, dvije pumpe, kompas, dubinomer, cijevi za ventilaciju i prorazice za promatranje. Zbog toga se Bushnell smatra ocem podmorničarstva.

Za Direktorij Francuske sagradio je 1798. godine Amerikanac R. Fulton podmornicu *Nautilus* (sl. 3). Ta je podmornica bila od metala, imala je ručno pokretani vijak za podvodnu vožnju i sklopivo jedro za površinsku vožnju, dubinsko kormilo, minsko naoružanje i tri člana posade. Usprkos uspijelim pokusima podmornica nije prihvjeta na Francuskoj ni u Engleskoj zbog tadašnjih nazora o ratovanju. Fulton je u SAD (1810) dobio suglasnost da gradi podmornicu *Mute* s pogonom na parni stroj, ali je njegova smrt prekinula pokuse.

Bavarski artiljerijski podoficir V. Bauer sagradio je 1851. godine čeličnu podmornicu *Brandtaucher*, pokretanu ručno, koja je imala uteg za podešavanje trima (uzdužnog nagiba podmornice prema horizontali), a mogla je roniti do 15 m dubine. Drugu podmornicu vrlo slične konstrukcije sagradio je 1855. godine podmornicu nosila na pramcu minu.

Za vrijeme američkoga građanskog rata (1861–1865) južne su države imale dvije podmornice, od kojih je poznatija podmornica *Hunley*, sagrađena prema projektu kapetana McClintocka i H. L. Hunley. Pokretala se ručno i postizala brzinu od 4 čvorova, a imala je 8 članova posade. Na pramčanoj motki nosila je minu koja se zabadala u drvenu oplatu broda, pa kad se podmornica udaljila, mina se aktivirala žicom. Podmornica *Hunley* potopila je 1864. godine korvetu Sjevernih država *Housatonic*, i pri tom stradal. To je prvi stvarni i sve do prvoga svjetskog rata jedini uspjeh u podmorničkom ratovanju.

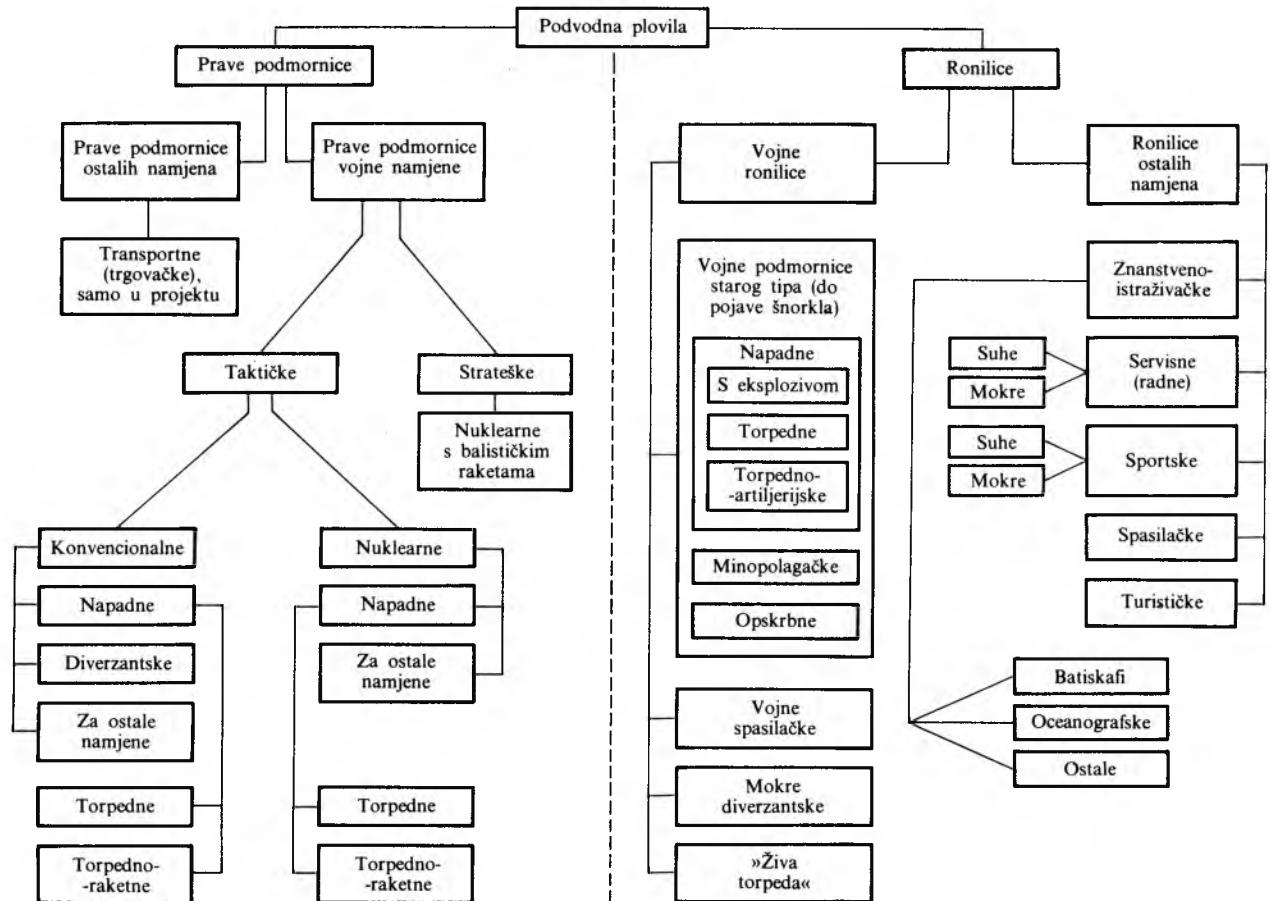
1863. godine dovršena je u Francuskoj podmornica *Plongeur* istisnine 420/450 t (prva brojka znači istisninu u nadvodnoj, a druga u podvodnoj vožnji) prema projektu Ch. Le Brunisa i S. Bourgeoisa (sl. 4). Nosila je minu na pramčanoj motki, za podvodnu vožnju služio je motor na komprimirani zrak i na njoj je prvi put primijenjen sistem za spasavanje.

Tokom posljednja tri desetljeća XIX st. nastali su brojni novi patenti i konstrukcije podmornica. U tom su razdoblju izumljeni torpedo, generator istosmjerne struje, motori s unutrašnjim izgaranjem i periskop, što je uglavnom riješilo probleme pogona podmornice, njene podvodne plovidbe i njena naoružanja, pa su se postepeno počeli primjenjivati odvojeni pogon za nadvodnu i podvodnu vožnju, periskop, pramčana i krmena dubinska kormila, komprimirani zrak za pirenje (pražnjenje) tankova ronjenja, torpedne cijevi različite izvedbe i rasporeda, konstrukcije sa čvrstim i lakisim trupom podmornice, itd. U to su se vrijeme posebno isticala konstrukcije podmornica Engleza G. W. Garretta, Amerikanaca J. P. Hollanda i S. Lakea, Francuza G. Zédea i M. Laubeufa i Švedanina T. Nordenfelta.

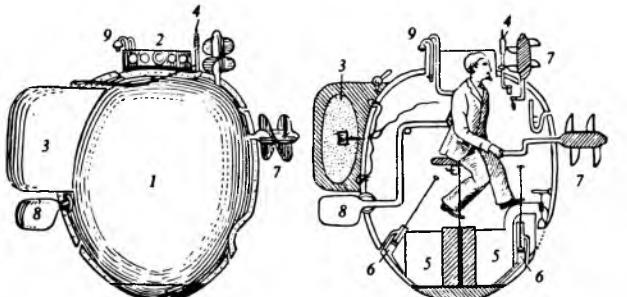
Na prijelazu u XX st. podmornica je bila već dovoljno razvijena da se za nju počnu ozbiljno zanimati i ratne mornarice pojedinih zemalja. Mornarica SAD prva je preuzeala u svoj flotni sastav 1900. godine podmornicu *Holland*, nazvanu prema njenom konstruktoru J. P. Hollandu (sl. 5). Podmornica Holland imala je pogon na benzinski motor i elektromotor napajani od akumulatorske baterije, pod vodom je razvijala brzinu od 5 čvorova, a bila je naoružana s jednom torpednom cijevi i dvije cijevi za izbacivanje eksploziva. Taj su tip podmornice naručile 1902. godine i ratne mornarice Velike Britanije i Japana. Iste je godine u Rusiji sagrada prema projektu Bubnova i Beklemiševa podmornica *Delfin* od 175 t istisnine. Njemačka ratna mornarica dobila je 1906. prvu podmornicu *U1* istisnine 238/283 t i podvodne brzine 9–10 čvorova. Vojne sposobnosti podmornice mnogo su se povećale kad su se poslije 1910. godine za pogon počeli primjenjivati Dieselski motori.

Pred prvi svjetski rat većina ratnih mornarica zaraćenih strana raspolagale su i podmornicama. Već početkom prvoga svjetskog rata njemačka podmornica *U21* potopila je 5. IX 1914. britansku krstaricu *Pathfinder*, što je bio prvi uspiješan torpedni napad u povijesti podmorničarstva.

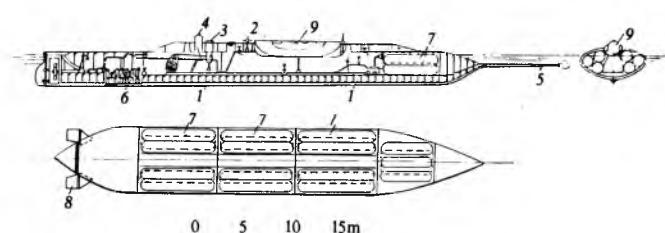
Pošlije prvoga svjetskog rata Njemačkoj je zabranjeno da gradi podmornice, ali su ih gradili pobjednici. Tako je npr. Francuskoj (1929) sagrada podmornica *Surcouf* istisnine čak od 2880/4300 t, naoružana sa dva topa od 203 mm i podvodne brzine od 10 čvorova. Londonskim ugovorom od 1936. godine potpisnici su se obvezali da neće graditi podmornice veće standardne



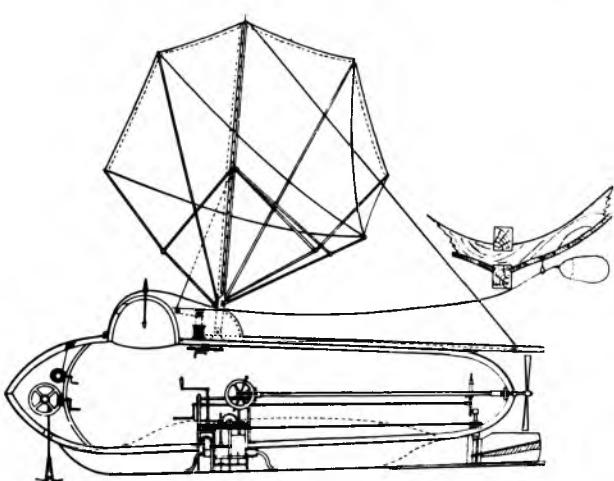
Sl. 1. Podjela podvodnih plovila prema namjeni



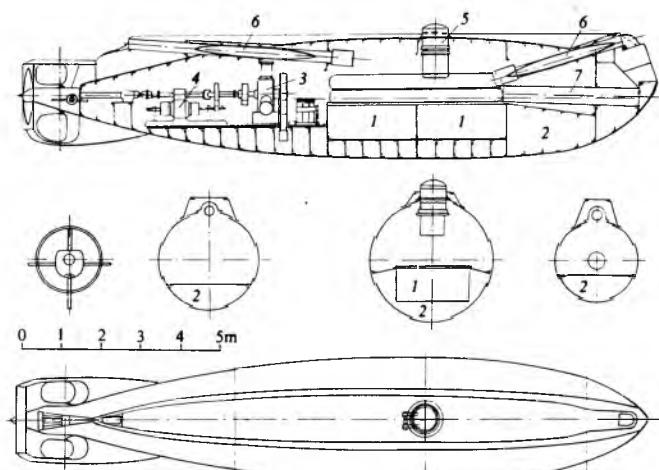
Sl. 2. Bushnellova podmornica Turtle (1776). 1 trup, 2 prozori, 3 mina, 4 vijak za pričvršćenje mine, 5 tankovi ronjenja, 6 pumpa, 7 vijci za pokretanje podmornice, 8 kormilo, 9 ventilacijska cijev



Sl. 4. Podmornica Plongeur Bourgeoisa i Le Bruna (1863). 1 glavni tankovi u vodnu, 2 vertikalni brodski vijak, 3 cilindar s pokretnim stupom, 4 silaz, 5 pramčana motka s minom, 6 motor na komprimirani zrak snage 59 kW, 7 spremnici komprimiranog zraka, 8 dubinsko kormilo, 9 čamac za podvodno spašavanje



Sl. 3. Fultonova podmornica Nautilus (1798)



Sl. 5. Hollandova podmornica iz 1897. god. 1 akumulatorska jama, 2 glavni tankovi, 3 Ottov motor snage 37 kW, 4 elektromotor snage 37 kW, 5 toranj, 6 dinamitni top, 7 torpedna cijev

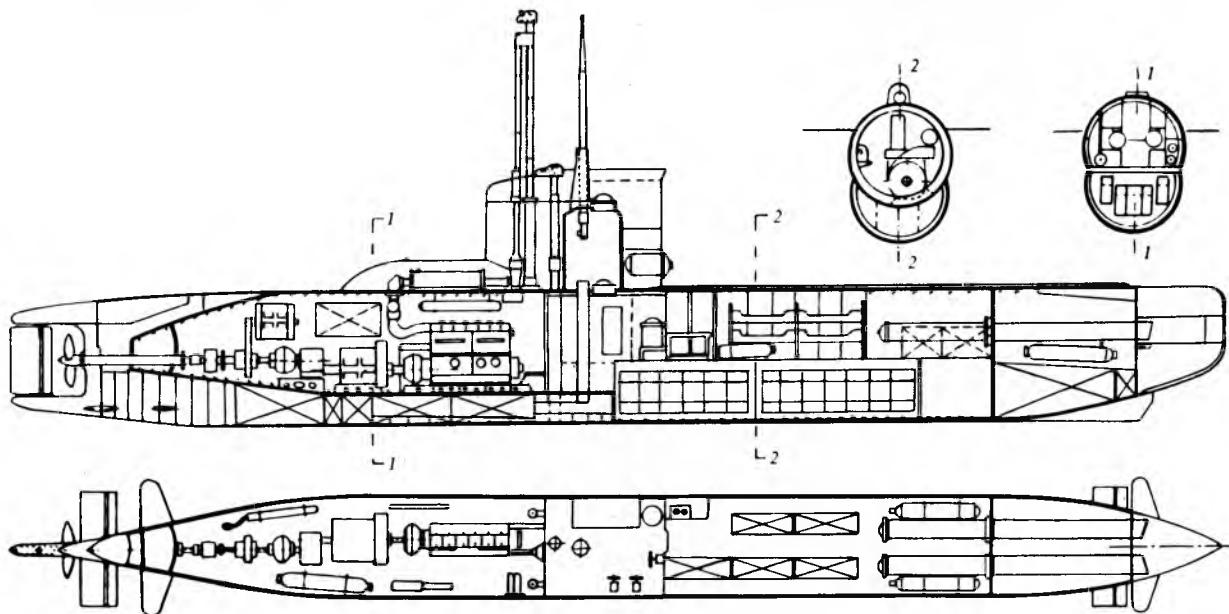
PODMORNICA

istisnine od 2000 t i da topovsko naoružanje neće biti većeg kalibra od 150 mm. Dolaskom Hitlera na vlast (1933) Njemačka se počinje naoružavati i ponovno gradi podmornice.

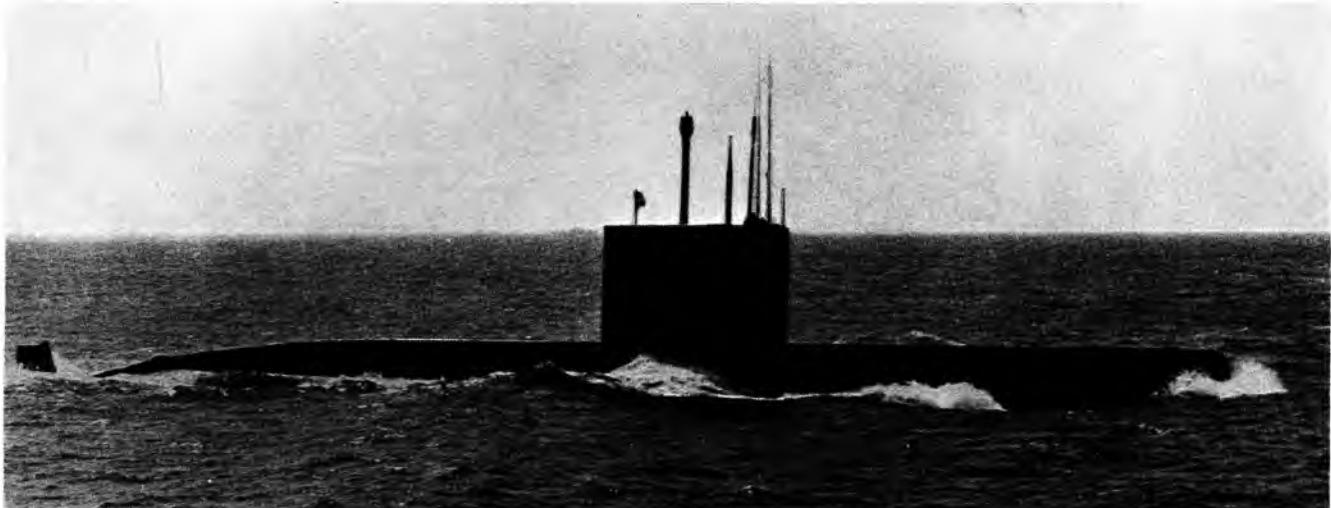
U drugome svjetskom ratu podmornički je rat poprimio velike razmjere. Njemačke su podmornice vrlo brzo počele ugrožavati komunikacije Saveznika i potapati njihove ratne brodove, čak na zaštićenim sidrištima. Prema nizozemskom projektu Nijemci su 1944. uveli na podmornicu *shorkel* (uredaj za dobavu atmosferskog zraka pogonskom motoru kad podmornica plove na maloj dubini), a iste su godine revolucionirali podmorničko ratovanje građnjom opasnih, pravih podmornica tipa *XXI* i *XXIII* (sl. 6). Te su se podmornice mogle dugo zadržavati pod vodom, imale su oblik trupa projektiran za ronjenje, pa im je podvodna brzina bila veća od površinske. Potkraj rata Japanci su sagradili dotad najveću podmornicu od 5200/6500 t istisnine.

Njemačka su dostignula utjecaja da se nakon drugoga svjetskog rata postopeće podmornice rekonstruiraju, ili da se grade nove po uzoru na njemački tip *XXI*. U SAD se 1953. eksperimentalnom podmornicom *Albacore* potvrdilo da vretenasti oblik trupa sa samo jednim brodskim vijkom omogućuje konvencionalnim podmornicama brzinu čak od 33 čvorova. U Jugoslaviji se 1953–1954. prvi put počinju graditi konvencionalne podmornice (sl. 7).

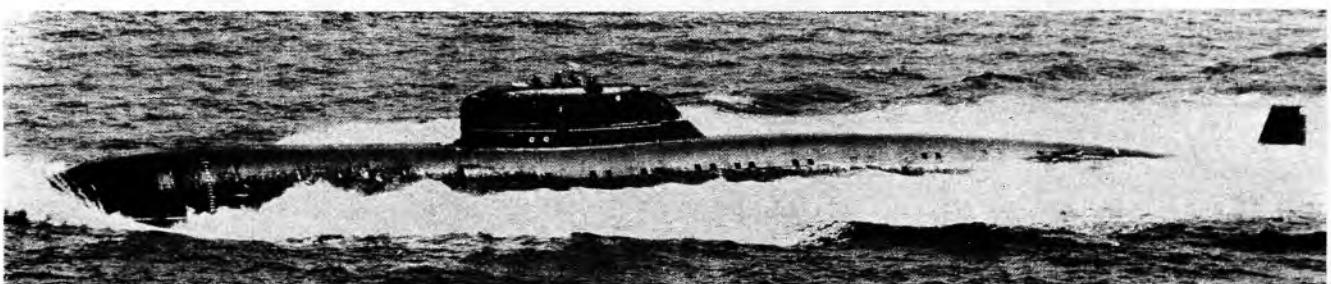
U SAD (1954) izgrađena je prva podmornica na nuklearni pogon *Nautilus* od 3180 t istisnine. Ta je podmornica ploveći ispod arktičkog leda od 1. do 5. VIII 1958. izronila na Sjevernom polu. Uvođenjem nuklearnog pogona počinje nova era u gradnji i upotrebi podmornica. U početku su nuklearne podmornice bile naoružane torpedima, a kasnije balističkim raketama (sl. 8). Nuklearne podmornice, naoružane raketama s nuklearnom glavom i interkontinentalnim dometom, imaju skoro neograničenu autonomiju, pa postaju strateško oružje i



Sl. 6. Njemačka podmornica tipa *XXIII*, nadvodna istisnina 232 t, podvodna istisnina 258 t (1944. god.)



Sl. 7. Jugoslavenska podmornica tipa *Heroj*



Sl. 8. Strateška nuklearna podmornica SSSR, nadvodna istisnina 4300 t, podvodna istisnina 5100 t, podvodna brzina 30 čvorova, osovinska snaga 17000 kW, 8 lansera balističkih raketa

zapravo predstavljaju pokretne podvodne lansirne rampe. Različiti tehnički uređaji i izuzetan komplikom mogu omogućiti nuklearnoj podmornici da dugo boravi pod vodom bez izronjivanja. Istisnine nuklearnih podmornica rastu i već su 1978. godine bile u gradnji podmornice od 16600 t površinske istisnine. Najavljujane su i nuklearne podmornice tankeri od 170000 t istisnine, ali zbog ekonomskih razloga do sada se nije ostvario takav projekt.

Pronalaskom taktičkih raketa, koje se u podvodnoj vožnji mogu lansirati iz standardnih torpednih cijevi (prvo uzgonskom kapsulom dosegaju na površinu vode, a zatim aktiviraju raketni motor i samonavodjenjem krenu na površinski cilj), te zahtijevajući ostalim tehničkim dostignućima konvencionalne su podmornice zadržale svoju važnost, pa i nadalje ostaju u sastavu ratnih mornarica, najčešće manjih zemalja.

B. Ryšlavy

TEORIJA PODMORNICE

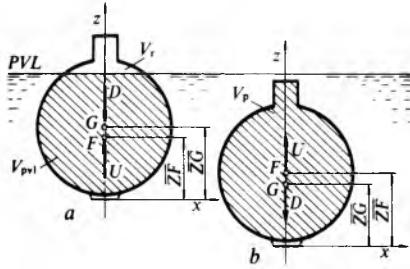
Plovnost i istisnina

Pod plovnošću podmornice razumije se njena sposobnost da plovi na određenoj vodnoj liniji (gazu) na površini vode, ili ispod površine vode na dubini koja ne prelazi neku određenu granicu.

Da bi podmornica plutala na površini vode, s gazom do plovne vodne linije (PVL) (sl. 9a), ona mora zadovoljiti iste uvjete plovnosti kao i svaki površinski brod (v. *Brod, plovnost, TE 2, str. 168*). Prvi je uvjet da ukupna težina podmornice D mora biti jednaka težini vode što ju istisne uredjeni dio trupa podmornice, tj. da je težina podmornice D jednaka sili uzgona U

$$D = V_{\text{PVL}} \gamma = U, \quad (1)$$

gdje je V_{PVL} volumen podvodnog dijela trupa podmornice, a γ specifična težina vode. Drugi je uvjet da hvatište rezultantne sile D svih težina podmornice (težište sistema G) i hvatište sile uzgona U (težište istisnine F) moraju ležati na istoj okomici na plovnu vodnu liniju, a treći je uvjet da podmornica mora biti u stabilnom položaju. Ta ista tri uvjeta vrijede i kad podmornica miruje potpuno uredjena ispod površine vode, uz razliku da tada težište sistema G i težište istisnine F moraju ležati u istoj ravni okomitoj na površinu vode (sl. 9b).



Sl. 9. Položaj težišta sistema G i težišta istisnine F . a nadvodno stanje, b podvodno stanje

Kad podmornica plovi na površini vode, volumen nepropusnog dijela trupa iznad plovne vodne linije naziva se *rezervna plovnost*

$$V_r = V_p - V_{\text{PVL}} \text{ ili } V_r = V_\downarrow - V_\uparrow, \quad (2)$$

gdje je V_r rezervna plovnost, V_p ukupni volumen trupa i prijesaka zaronjene podmornice, \downarrow oznaka za podvodni i \uparrow oznaka za nadvodni položaj podmornice.

Rezervna se plovnost obično označuje u postocima

$$V_r = \frac{V_p - V_{\text{PVL}}}{V_{\text{PVL}}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Veća rezervna plovnost osigurava bolja pomorstvena svojstva podmornice, ali povećava vrijeme potrebno za zaronjivanje. Podmornice građene do drugoga svjetskog rata imale su rezervnu plovnost od 25...40%. Suvremenim je podmornicama osnovna vožnja podvodna, pa se rezervna plovnost smanjila na 12...20%.

Kad podmornica zaronjuje, poništi se njezina rezervna plovnost V_r punjenjem glavnih balastnih tankova morskom vodom. Zbog toga se osjetno promijeni položaj težišta istisnine F po visini i duljini, a najčešće i položaj težišta sistema G . Istisnina

tako otežane podmornice u zaronjenom stanju naziva se podvodnom istisninom ili podvodnom težinom podmornice D_\downarrow

$$D_\downarrow = V_{\text{PVL}} \gamma + V_r \gamma. \quad (4)$$

Podmornica može zaroniti odjednom ili u dvije faze. Kad zaroni odjednom, otvore se ventili odušnika i plavnika, pa voda neprekidno ulazi u sve balastne tankove dok ih ne isplini. Kad zaroni u dvije faze, prvo se pune krajnji glavni balastni tankovi, a zatim srednji glavni balastni tankovi. Kao preduvjet za uspješno i lako zaronjivanje, podmornica mora biti dobro uravnotežena i trimovana. Izronjivanje podmornice suprotan je proces. Pomoću komprimiranog zraka piri se (izbacuje se) voda iz glavnih balastnih tankova, pa se podmornica tako olakša i izroni na površinu.

Da bi podmornica lebdjela pod vodom, tj. mirovala na određenoj dubini, a da ne upotrebljava horizontalna kormila (hidroplane), mora biti ispunjen uvjet staticke ravnoteže

$$D_\downarrow = V_p \gamma. \quad (5)$$

Taj se uvjet, međutim, ne može ispuniti, jer veličina uzgona $V_p \gamma$ ima promjenljivu vrijednost, ovisnu o slanosti i temperaturi morske vode, a i tlak što djeluje na trup podmornice mijenja se s dubinom vode. Budući da se s promjenom fizikalnih odnosa medija, u kojem podmornica roni, mijenja i odnos između težine podmornice D_\downarrow i sile uzgona $V_p \gamma$, to uzgon može biti veći, jednak ili manji od težine podmornice. Nastala razlika Q zove se *rezervni uzgon* ili *preostala plovnost*

$$Q = V_p \gamma - D_\downarrow. \quad (6)$$

Ako Q ima pozitivnu vrijednost, tada je uzgon veći od težine podmornice pa ona izronjuje, a ako je Q negativan, tada je težina podmornice veća od uzgona pa ona uredjene. Zato se podmornica može održavati u stanju mirovanja na određenoj dubini samo povremenim plavljenjem i izbacivanjem morske vode iz tankova, već prema promjeni hidroloških uvjeta, što se na suvremenim podmornicama postiže sistemom automatskog uravnoteženja.

Ukupna težina potpuno opremljene podmornice sastoji se od pojedinačnih stalnih i promjenljivih težina. Pri projektiranju projektant računski raspoređuje pojedinačne težine po duljini, širini i visini, tako da ukupna težina podmornice bude uravnotežena (*proračun centracije*). Pravo stanje uravnoteženja podmornice utvrđuje se pri prvom ronjenju (*statičko ronjenje*) nakon završetka gradnje, kad podmornica na malim dubinama postepeno zaronjuje i pri tom se uravnotežuje i trimuje ubacivanjem vode u unutrašnje pomoćne tankove i izbacivanjem vode iz njih, uz slobodno naplavljive glavne balastne tankove. Podaci dobiveni statičkim ronjenjem služe za konačan raspored čvrstog balasta u podmornici. Naime, stvarne težine ugrađene u podmornicu mogu se razlikovati od proračunskih težina s kojima se računalo pri projektiranju podmornice. Zbog te razlike i zbog eventualne kasnije ugradnje nove opreme, predviđa se *projektna rezerva težina*, koja iznosi 1,5...5% ukupne težine podmornice. Razlika utvrđena statičkim ronjenjem nadoknađuje se čvrstim balastom.

Uravnotežena, trimovana i centrirana podmornica ima normalno opterećenje, odnosno *normalnu istisninu*, što znači stvarnu težinu trimovane podmornice sa svim zalihama. Upotrebljava se i naziv *standardna istisnina* koja uključuje sve težine kao i normalna istisnina, osim zaliha goriva i maziva.

Podmornica ima više tankova različite namjene (sl. 10).

Glavni balastni tankovi služe za zaronjivanje, odnosno izronjivanje podmornice i sadrže 12...20% normalne istisnine.

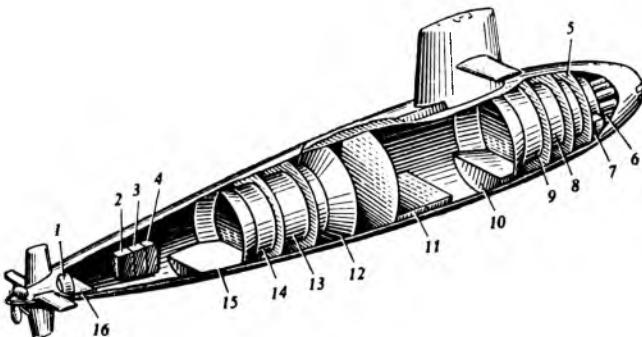
Regler-tankovi služe za uravnoteženje podmornice kad nastanu promjene težina kao posljedica različite specifične težine vode γ i promjene volumena čvrstog trupa, ovisno o tlaku okolne vode. Regler-tankovi su raspoređeni u blizini težišta sistema G , a čine 2,5...3% podvodne istisnine.

Tank brzog ronjenja ima volumen od 0,7...1% podvodnog volumena podmornice, smješten je u čvrstom trupu nešto ispred težišta sistema, a služi da ubrza zaronjivanje. Da bi podmornica s površine što brže zaronila, napravi se tank brzog ronjenja,

a zatim se na određenoj dubini automatski piri. Plavljenjem tog tanka podmornica vrlo brzo zaroni na potrebnu dubinu, a kad je tank ponovo prazan, podmornica je uravnotežena i trimovana.

Nadomjesni tankovi služe za uravnoteženje podmornice kad se promijene unutrašnje težine jer je izbačeno torpedo ili kad se smanje zalihe hrane i goriva.

Pomoću *trim-tankova* poništava se ili stvara uzdužni moment (*trim-moment*) koji veoma mnogo utječe na ponašanje podmornice. Trim-tankovi se nalaze na pramcu i krimi unutar čvrstog trupa podmornice, a iznose $\sim 0,5\%$ podvodne istisnine. Prebacivanjem vodenog balasta iz pramčanog u krmeni trim-tank mijenja se uzdužni položaj težišta sistema i poništava ili stvara kut trima φ .



Sl. 10. Raspored tankova na američkoj nuklearnoj podmornici Skipjack. 1 krmeni trim-tank, 2, 3 i 4 tankovi maziva, 5 pramčani trim-tank, 6 glavni balasti tank br. 1, 7 prstenasti tank (slobodno naplavljivi prostor), 8 glavni balasti tank br. 2, 9 glavni balasti tank br. 3, 10 tank brzog ronjenja, 11 tank za uravnoteženje (regler-tank), 12 glavni balasti tank br. 4, 13 glavni balasti tank br. 5, 14 glavni balasti tank br. 6, 15 tank slatke vode, 16 tank rezervnog ulja za hidrauličke uređaje

Svaki put kad se promijeni normalno opterećenje podmornice, jer se ukrcao ili iskrcao neki teret, utrošila neka zaliha ili premjestila neka promjenljiva težina, mora se kontrolirati stanje težina i trim-momenata prema ranijem stanju. Uvjet je borbene spremnosti podmornice da uvijek bude ispravno trimovana i uravnotežena, pa je zadatak posade da stalno i točno vodi podatke o promjenljivim težinama i o uzdužnim momenitima nastalim zbog promjene tih težina.

Stabilitet

Definicija stabiliteta podmornice jednaka je definiciji stabiliteta površinskog broda. Također su sve zakonitosti stabiliteta podmornice na površini vode iste kao i za površinske brodove. Zato se za definicije pojedinih pojmoveva i za postupke proračuna stabiliteta podmornice koja pluta ili plovi na površini vode upućuje na članak *Brod, stabilitet*, TE 2, str. 172.

U nadvodnom položaju podmornice imaju mnogo veći opseg poprečnog stabiliteta nego površinski brodovi. Opseg stabiliteta podmornica iznosi $70 \dots 75^\circ$, a površinskih brodova samo $\sim 40^\circ$. Zato su, s obzirom na nadvodni stabilitet, podmornice potpuno sigurne, uz pretpostavku da imaju dovoljnu početnu metacentarsku visinu $\bar{M}G$, da su na podmornici zatvoreni svi vanjski prolazi i otvori, te da nema slobodnih površina u unutrašnjim tankovima. Metacentarska visina $\bar{M}G$ jednotrupne podmornice srednje veličine u nadvodnom položaju iznosi ~ 20 cm, a dvo-trupne ~ 30 cm. Manja metacentarska visina jednotrupne podmornarice posljedica je manje širine njena trupa u usporedbi s dvo-trupnom podmornicom. Zato se već projektom jednotrupne podmornice treba osigurati dovoljna početna metacentarska visina, tj. treba smjestiti težu opremu u donje dijelove podmornice i time postići niži položaj težišta sistema G .

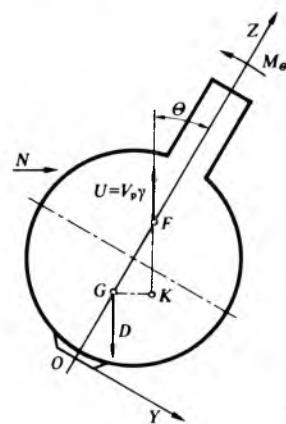
Uzdužni stabilitet podmornice u nadvodnom položaju ne predstavlja nikakav problem, jer je uzdužna metacentarska visina vrlo velika i iznosi $0,8 \dots 1,5$ duljine podmornice.

Za razliku od površinskih brodova, za podmornicu je, osim nadvodnog stabiliteta, vrlo važan podvodni stabilitet, te stabilitet pri zaronjivanju i izronjivanju.

Podvodni stabilitet podmornice. U podvodnom se položaju podmornice težište istisnine F nalazi iznad težišta sistema G , što je bitna razlika u usporedbi s nadvodnim položajem pod-

mornice. Zbog djelovanja vanjske sile N podmornica se nagne za kut Θ (sl. 11), ali, za razliku od nadvodnog stanja, težište istisnine F ne mijenja svoj položaj. Zbog toga sila uzgona $U = V_p \gamma$ i težina podmornice D stvaraju spreg sile, odnosno povratni moment M_θ koji se suprotstavlja napadnom momentu sile N i vraća podmornicu u prvobitni položaj.

Površina vode



Sl. 11. Djelovanje sprega sile uzgona $U = V_p \gamma$ i težine D na podvodni stabilitet podmornice

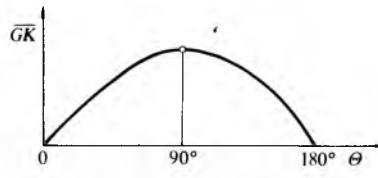
Budući da se pri nagibu potpuno zaronjene podmornice ne mijenja položaj njena težišta istisnine F ni težišta sistema G , to znači da ne postoji stabilitet forme, nego samo stabilitet težine. Iz sl. 11 vidi se da je metacentarska visina zaronjene podmornice jednaka dužini FG , tj. metacentar se uvijek nalazi u težištu istisnine F , bez obzira da li se radi o poprečnom ili uzdužnom nagibu podmornice. Izraz za moment stabiliteta zaronjene podmornice glasi

$$M_{st} = V_p \gamma \bar{F}G \sin \Theta, \quad (7)$$

gdje je Θ kut bilo poprečnog, bilo uzdužnog nagiba. Iz (7) proizlazi da su u podvodnom položaju poprečni i uzdužni stabilitet podmornice jednak. Također slijedi praktični zaključak da se dobar podvodni stabilitet podmornice može osigurati samo pogodnim rasporedom težina. Više težina u donjem dijelu podmornice daje niže težište sistema G , a time i veći stabilitet. Može se uzeti kao pravilo da kad se smanji težina na mostu za 1 tonu, potrebna težina balasta u kobilici smanji se za $2 \dots 3$ tone. Ipak je neka količina čvrstog balasta uvijek potrebna da se osigura optimalan stabilitet.

Računske vrijednosti podvodne metacentarske visine provjeravaju se podvodnim pokusom nagiba. Suvremene podmornice, već prema veličini, imaju podvodnu metacentarsku visinu $17 \dots 35$ cm. Male vrijednosti uzdužnog podvodnog stabiliteta uzrokuju trim podmornice već pri manjim promjenama opterećenja na krajevima podmornice, pa je važan zadatak posade da održava trim u dozvoljenim granicama. Mali uzdužni stabilitet zaronjene podmornice omogućuje manji utrošak energije za rad horizontalnih kormila i lakše upravljanje podmornicom u vertikalnoj ravnini pri većim brzinama. Za podvodnu vožnju malim brzinama poželjan je veći uzdužni stabilitet radi lakšeg držanja podmornice u vertikalnoj ravnini. Veći je uzdužni stabilitet povoljan i pri većim nagibima kad podmornica zakreće u horizontalnoj ravnini. Zato su pri projektiranju potrebne opsežne analize da se usklade spomenuti protuslovnici zahtjevi.

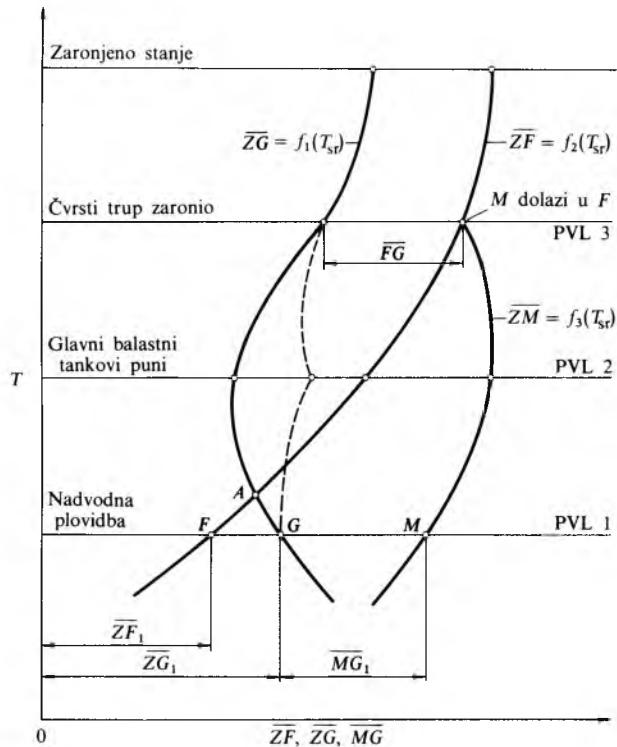
U idealnom slučaju, ako nema slobodnih površina, dijagram statičkog stabiliteta za veće podvodne nagibe pravilna je sinu-



Sl. 12. Dijagram statičkog stabiliteta zaronjene podmornice

soida, gdje je maksimalni kut nagiba $\Theta_{\max} = 90^\circ$, a kut pre-vrtanja $\Theta_{pr} = 180^\circ$ (sl. 12). Stabilitet zaronjene podmornice može se kritično smanjiti kad podmornica legne na dno ili kad se toranj puni morskom vodom radi spasavanja posade.

Stabilitet pri zaronjivanju i izronjivanju. Kad podmornica zaronjuje, odnosno izronjuje, vodom se pune, odnosno prazn glavni balastni tankovi. Zbog toga podmornica mijenja gaz, istisninu i težinu, položaj težišta istisnine i težišta sistema, te položaj metacentra (sl. 13). Istdobno u balastnim tankovima djeluju slobodne površine vode, postoji hidrodinamički utjecaj prolaza vode kroz plavnike, aerodinamički utjecaj prolaza zraka kroz otvorene odušnike itd. Podmornica obično zaronjuje, odnosno izronjuje za vrijeme vožnje, pa su hidrodinamički efekti jače izraženi. Uz takve je uvjete teoretski proračun stabilitet-a vrlo složen, to više što se praktički proračunava statički parametar, metacentarska visina h , u dinamičkim uvjetima. Zato su iskustveni podaci iz prakse izvanredno važni za proračun i projektna rješenja.



Sl. 13. Stabilitet podmornice pri zaronjivanju i izronjivanju bez djelovanja slobodnih površina. Isprekidana linija vrijedi za zaronjivanje i izronjivanje u dvije faze. Kritički je moment zaronjivanja i izronjivanja u točki A; T gaz, T_{sr} srednja vrijednost gaza

Za vrijeme zaronjivanja dvotrupne podmornice utjecaj slobodnih površina, zbog prelijevanja vode u bočnim tankovima i promjene položaja težišta sistema G , težišta istisnine F i metacentra M , može uzrokovati trenutni negativni stabilitet. Međutim, zaronjivanje se odvija tako brzo da je isključena mogućnost opasnog bočnog nagiba podmornice.

Izronjivanje je suprotan i sporiji proces od zaronjivanja, pa je pojava negativnog stabiliteta opasnija. Zato se pri izronjivanju nadgrada treba što brže osloboditi vode, što znači da treba predvidjeti više dovoljno velikih otvora za istjecanje vode. Utjecaj slobodnih površina smanjuje se pirenjem glavnih balastnih tankova pomoću komprimiranog zraka koji djeluje kao tlačni jastuk i smiruje vodene površine u tankovima. I ostatak vode u kaljužama može na nemirnom moru nepovoljno utjecati na stabilitet podmornice pri izronjivanju.

Nepotonljivost i žilavost podmornice

Nepotonljivost je sposobnost podmornice da nakon oštećenja i ograničenog prodora vode sačuva dovoljnu plovnost, stabilitet i ostala pomorstvena svojstva (v. *Brod, nepotonljivost, TE 2, str. 181*).

Da bi očuvala nepotonljivost, podmornica mora imati optimalnu rezervnu plovnost, dovoljan stabilitet, više dovoljno čvrstih nepropusnih pregrada, povoljan uzdužni smještaj tankova u čvrstom trupu, dovoljan kapacitet drenažnih pumpi i dovoljne količine komprimiranog zraka za pirenje vode iz glavnih balastnih tankova.

Nekada je podmornica najviše vremena plovila na površini, pa se zahtijevalo da treba sačuvati nepotonljivost kad je naplavljen jedan ili dva susjedna odsjeka s pripadnim bočnim tankovima, tj. podmornica se tretirala kao površinski brod. To se moglo postići jer su tada podmornice imale 30...40% rezervne plovnosti. Suvremena podmornica ima samo ~15% rezervne plovnosti i najviše vremena plovi zaaronjena, pa se mora veoma paziti na podvodnu nepotonljivost oštećene podmornice. Da bi oštećena podmornica mogla izroniti na površinu, potrebno je ograničiti prodror vode u oštećeni odsjek i proizvesti silu uzgona i potreban trim-moment.

Hidrodinamičke sile i momenti horizontalnih kormila u sprezi s pirenjem tankova pomoću komprimiranog zraka mnogo povećavaju plovnost i proizvode povoljniji trim-moment. To može biti sudobosno za podmornicu velike podvodne brzine kad oštećena izronjuje na površinu. Najsuvremenije podmornice imaju elektronička računala koja, kad prodre voda, automatski aktiviraju sisteme namijenjene očuvanju nepotonljivosti.

Žilavost podmornice širi je pojam od nepotonljivosti. Dobr projekt i konstrukcija podmornice u cjelini i njenih sistema pojedinačno, tehnička opremljenost te primjerena brodska organizacija sprečavanja i oticanja oštećenja, splet su činilaca koji podmornici daju veću ili manju žilavost.

Danas se sve više uvode nova rješenja da se poboljša žilavost, a time i sigurnost podmornice. Akumulatorski članci već mogu imati kut nagiba i do 45° a da se elektrolit ne izlije. Tlak komprimiranog zraka povećan je na 200...400 bara. Smanjuje se broj prolaza u čvrstom trupu jer su oni izvor opasnosti kad prodre voda. Zaporne su armature na cjevovodima spojnim s morskom vodom podvostručene, a duljine cjevovoda unutar podmornice osjetno su smanjene. Na nekim podmornicama postoje sigurnosne kobilice koje se pri oštećenju automatski otpuštaju, pa se tako povećava uzgon podmornice. Kad podmornica preduboko zaroni, prednji se par balastnih tankova automatski piri. U glavne balastne tankove ugrađuju se raketski plinski motori koji se pri određenom tlaku automatski aktiviraju i pire tankove. Povećana je izdržljivost i sigurnost energetskog postrojenja. Sistemi za upravljanje podmornicom, njenim pogonom i pojedinim uređajima, osim velikog stupnja automatizacije, dovoljno su fleksibilni da omogućuju poluautomatsko i ručno upravljanje. Podmornice se opremaju djetotvornim vatrogasnim i drenažnim sistemima. Primjenjuju se sistemi svjetlosne signalizacije i zvučnog alarma, koji automatski djeluju kad je podmornica oštećena ili kad se premaže neka ograničenja.

Čvrstoća podmornice

Sve veće dubine ronjenja podmornice zahtijevaju sve složniji čvrsti trup. Nastoji se sa što manjom težinom ugrađenog materijala postići potrebna čvrstoća trupa, jer lakša konstrukcija trupa, uz isti volumen podmornice, omogućuje da se ugradi više naoružanja i opreme. Da bi se postigla potrebna čvrstoća trupa, primjenjuju se metode proračuna zasnovane na mehanici ojačane cilindrične ljske i na tlačnim ispitivanjima serije strukturnih modela u različitim mjerilima. Usporedbom proračunskog tlaka loma konstrukcije s rezultatima eksperimentata provjeravaju se primjenjene metode proračuna čvrstoće.

Praktički je neizvedljivo da se već izgrađeni trup podmornice ispituje radi provjere čvrstoće loma. U praksi se novoizgrađena prototipna podmornica postupno uranja do granične dubine, mjereći tenzometrima naprezanja na kritičnim dijelovima čvrstog trupa i elastične deformacije uzrokane hidrostatskim tlakom. Izmjerena naprezanja i deformacije moraju biti u granicama proračunatih vrijednosti.

Dubina ronjenja jedna je od najvažnijih konstrukcijskih karakteristika podmornice. Osim periskopske, šnorkelske i sigurnosne dubine, određuju se i radne, granične i računske dubine ronjenja.

Radna dubina ronjenja H_r ona je dubina do koje podmornica smije zaronjivati neograničeno puta i na kojoj smije ploviti bilo kojom brzinom.

Granična dubina ronjenja H_{gr} najveća je dubina na koju podmornica može zaroniti a da se ne pojave trajne deformacije na čvrstom trupu. Tokom svog vijeka trajanja podmornica smije zaroniti na graničnu dubinu samo 15-20 puta, a brzina je vožnje na toj dubini ograničena na ~ 5 čvorova.

Računska dubina ronjenja $H_{rač}$ ona je dubina na kojoj prema proračunu počinje lom čvrstog trupa podmornice. Ta je dubina $\sim 50\%$ veća od granične dubine ronjenja H_{gr} . Omjer između računske i granične dubine ronjenja jednak je koeficijentu sigurnosti čvrstoće trupa.

Na osnovi koeficijenta sigurnosti, odnosno računske dubine ronjenja i kvalitete čelika, odabire se geometrijski oblik čvrstog trupa, pa se proračunavaju elementi konstrukcije koja će u dozvoljenim granicama naprezanja materijala odoljeti tlačnom opterećenju okolne vode. Koeficijent je sigurnosti potreban da bi se uzele u obzir razlike što nastaju između proračunate i stvarne čvrstoće trupa zbog nepotpuni teorijskih spoznaja, odstupanja izvedbe čvrstog trupa od pretpostavljenoga geometrijskog oblika, nehomogenosti ugrađenog materijala, zamora materijala zbog cikličkih opterećenja, utjecaja korozije tokom vremena te slučajnih preopterećenja trupa.

Čvrstoća podmornica iz drugoga svjetskog rata računala se s koeficijentom sigurnosti $\sim 2,5$, dok se danas računa s koeficijentom sigurnosti nešto većim od 1,5. Geometrijska točnost izvedbe čvrstog trupa podmornice i kvalitet zavarenih spojeva mnogo utječe na vrijednost koeficijenta sigurnosti.

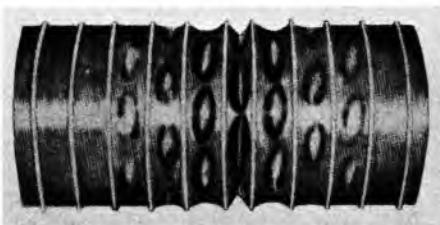
Zbog opterećenja hidrostatskim tlakom u čvrstom trupu nastaju naprezanja na tlak, a samo na pojedinim mjestima na tlak. Naprezanje po duljini podmornice mnogo je manje nego po obodu. Obodno se naprezanje računa prema formuli

$$\sigma = \frac{pr}{t}, \quad (8)$$

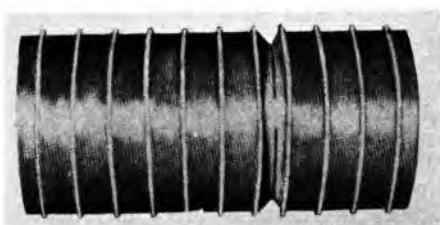
gdje je p hidrostatski tlak, r vanjski polumjer čvrstog trupa, a t debljina oplate čvrstog trupa.

Naprezanja zbog djelovanja kritičnog tlaka p_{kr} ne smiju biti veća od granice razvlačenja materijala, jer u protivnom mogu nastati oštećenja i lom konstrukcije na jedan od sljedećih načina:

1) U rasponu među rebrima oplata se izvija i stvara se 15-20 ulupina i izbočina po opsegu ljske trupa (sl. 14). Oplata će se izviti ako je izrađena od tankoga čeličnog lima visoke granice razvlačenja i niskog modula elastičnosti, a rebra su postavljena dosta razmaknuto. Izbočine oplate prema vani odupiru se tlaku vode i sprečavaju dalje deformacije. Nabori oplate ne pojavljuju se odjednom, a popraćeni su praskom. Nakon što se pojave prvi nabori, oplata može izdržati dalje povećanje tlaka sve dok ne nastanu lokalne pukotine na jednoj od ulupina.



Sl. 14. Deformacija čvrstog trupa podmornice zbog izvijanja oplate



Sl. 15. Deformacija čvrstog trupa podmornice zbog popuštanja oplate

2) Oplata popušta u rasponu među rebrima pa nastaje pravilan i simetričan nabor po čitavom opsegu (sl. 15). Takva se deformacija pojavljuje na debeloj oplati s gusto postavljenim rebrima, izrađenoj od materijala niske granice razvlačenja i visokog modula elastičnosti.

3) Opća nestabilnost konstrukcije nastaje kad čitav cilindar istodobno popusti u rasponu između dviju pregrada (sl. 16). Takav se oblik deformacije pojavljuje ako je cilindar dugačak, a rebra malena ili previše razmaknuta.



Sl. 16. Deformacija čvrstog trupa podmornice zbog opće nestabilnosti konstrukcije

Opisane se deformacije nazivaju primarnim oblicima loma konstrukcije. Sigurnost čvrstog trupa mogu ugroziti i sekundarna opterećenja, od kojih je najopasniji dinamički udar tlačnog vala zbog podvodne eksplozije. Tlačni se val sudara s trupom podmornice i uzrokuje vibracije koje oštećuju ili razraju trup. Zato konstrukcija trupa podmornice mora biti žilava, sposobna da apsorbira energiju dinamičkih udara i neosjetljiva na zareze u materijalu, da mala oštećenja od dinamičkog udara ne bi uzrokovala potpuni lom konstrukcije. Pri projektiranju se smatra da svaka konstrukcija čvrstog trupa koja zadovoljava i zahtjeve statičke čvrstoće ujedno zadovoljava i zahtjeve dinamičke čvrstoće. Ni jedan se podmornički trup ne može oduzeti razornom djelovanju eksplozije kontaktnog oružja s navođenjem. Međutim, ako trup nema kritičnih točaka, tj. visokih koncentracija lokalnih naprezanja i ako diskontinuiteti u materijalu (pukotine, pore, šljaka) ne prelaze dozvoljenu granicu, trup će biti dovoljno žilav na posredne dinamičke udare.

Najpovoljniji omjer između čvrstoće trupa i težine ugrađenog materijala postiže se ako je konstrukcija tako dimenzionirana da sva tri spomenuta oblika deformacija nastanu istodobno. Kritični se tlakovi kontroliraju proračunom izvijanja oplate između rebara, izvijanja prstena rebara i opće stabilnosti odsjeka čvrstog trupa.

Postoji više formula za određivanje kritičnog tlaka p_{kr} cilindričnog dijela oplate između rebara. Zbog djelovanja tlačnog opterećenja u novijim formulama pretpostavljen je radikalni tlak na ljsku i aksijalna sila u ljsku. Među takve pojednostavnjene formule spadaju formula ratne mornarice SAD

$$p'_{kr} = \frac{18,3 \left(\frac{100t}{r} \right)^{1,5} \frac{100t}{l}}{1 - \frac{0,62\sqrt{rt}}{l}}, \quad (9)$$

i Papkovićeva formula

$$p'_{kr} = 19,1 \left(\frac{100t}{r} \right)^2 \left(\frac{100tr}{l^2} \right)^{0,58}, \quad (10)$$

gdje je r vanjski polumjer čvrstog trupa, t debljina oplate čvrstog trupa, l razmak rebara, a p'_{kr} teorijski kritični tlak.

Teorijski kritični tlak p'_{kr} korigira se koeficijentom $\eta_1 = 0,6 \cdots 0,8$ zbog odstupanja od kružnog oblika poprečnog preseka trupa i koeficijentom $\eta_2 = 0,6 \cdots 0,75$ zbog odstupanja od Hookeova zakona u neelastičnom području. Tako korigirani teorijski kritični tlak p'_{kr} trebao bi biti jednak stvarnom kritičnom tlaku koji se, međutim, može točno odrediti samo eksperimentom. Za konične dijelove čvrstog trupa mora se uzeti u obzir kut koničnosti i smanjeni polumjer čvrstog trupa da se provjeri da li je p'_{kr} u granicama proračunatog za cilindrični dio trupa.

Kritični tlak p'_{kr} izvijanja prstena rebara, tj. rebra sa sunosivom širinom oplate čvrstog trupa u rasponu rebara, dobiva se iz formule

$$p'_{kr} = \frac{3EI}{r^3l}, \quad (11)$$

gdje je E modul elastičnosti, a I minimalni moment tromašte rebara sa sunosivom širinom oplate.

Taj p'_{kr} ima samo poredenu vrijednost, jer su prsteni rebara spojeni u cjelinu i ne mogu se izolirano promatrati. Međutim, sva rebara približno jednak preuzimaju opterećenja, pa se tako provjerava ujednačenost presjeka rebara uzduž čvrstog trupa s obzirom na otpornost na izvijanje, a time i stabilnost čitavog čvrstog trupa. I taj p'_{kr} treba korigirati koeficijentima η_1 i η_2 da bi se dobio stvarni kritični tlak p_{kr} .

Utvrđeno je da otpornost konstrukcije protiv izvijanja najviše ovisi o krutosti ljske, a ne o debljinu oplate, što znači da se pogodnim orebrenjem postiže stabilnost oblika trupnog cilindra.

Opća stabilnost odsjeka između dviju pregrada čvrstog trupa može se kontrolirati formulom

$$p'_{kr} = \frac{E}{n^2 + \frac{\alpha_1^2}{2}} \left[\frac{t}{r} \cdot \frac{\alpha_1^4}{(n^2 + \alpha_1^2)^2} + \frac{I}{n^3 l} (n^2 - 1)^2 \right], \quad (12)$$

gdje je n broj valova izvijanja, $\alpha_1 = (\pi r)/L$, a L razmak između pregrada.

Za konične dijelove trupa mora se uzeti u obzir kut koničnosti α , pa se umjesto r i l u izraz (12) uvrštava

$$r_1 = \frac{r}{\cos \alpha}, \quad l_1 = \frac{l}{\cos \alpha}. \quad (13)$$

Tako dobiveni p'_{kr} korigira se koeficijentima η_1 i η_2 . Svi korigirani kritični tlakovi nešto su veći od računskog tlaka p' pri kojem naprezanje u konstrukciji ne prelazi dozvoljenu granicu. Tokom eksploatacije podmornice njena konstrukcija može pretrjeti i do 50000 ciklusa s velikim promjenama opterećenja, što uzrokuje zamor materijala. Naprezanja koja nastaju po duljini čvrstog trupa upola su manja nego po obodu, pa ih može preuzeti oplate bez posebnih ukrućenja. Međutim, postoje konstrukcijski čvorovi (spoj stoča i cilindra, oplate i pregrade, zatim zaostale napetosti nakon mehaničke obradbe i varenja itd.) gdje nastaju momenti savijanja zbog kojih se pojavljuju zaostala vlačna naprezanja, a time i zamor materijala. Zato se mora veoma paziti na pripremu i geometrijski oblik zavarenog spoja.

Rebra su glavni nosioci stabilnosti konstrukcije i mogu biti postavljena s unutrašnje ili s vanjske strane oplate čvrstog trupa. Vanjska rebara daju veću čvrstoću, a unutrašnji se prostor podmornice može bolje iskoristiti, ali su takva rebara više izložena utjecaju agresivne sredine i korozije. Danas se redovno rebara od T-profila postavljaju na jednotrupnim podmornicama s unutrašnje strane oplate, a na dvotrupnim s vanjske strane.

Nepropusne pregrade mogu biti ravne ili sferične. Danas se većinom ugrađuju ravne pregrade, ojačane horizontalnim i vertikalnim ukrepljama zavarenim za oplate čvrstog trupa. Nepropusne su pregrade proračunate da izdrže hidrostatski tlak od 10...14 bara, tj. mnogo manje od izdržljivosti čvrstog trupa. Nastoji se smanjiti broj čvrstih pregrada, jer su vrlo teške i jer se ugradnjom okvirnih rebara može postići potrebna stabilnost konstrukcije čvrstog trupa. Krajnji završeci čvrstog trupa (čela) ravne su ili sferične ploče s uvarenim prolazima za torpedne cijevi. Osim što pregrade i čela moraju biti točno izrađeni, treba ih prije montaže u čvrsti trup termički obraditi da se uklone zaostala naprezanja uzrokvana zavarivanjem.

Tankovi za kompenzaciju težine i glavni balastni tankovi unutar čvrstog trupa dimenzioniraju se za najveći dopušteni hidrostatski tlak, što zahtijeva vrlo jake rebrenice i uzdužne veze, a spoj svoda tanka s oplatom čvrstog trupa mora se izvesti pažljivo. Unutrašnji tankovi koji nisu u neposrednom dodiru s morem lakše su konstruirani i često od materijala manje čvrstoće. Veći otvori u čvrstom trupu (toranj i izlazne komore) imaju pražnicu uvarenu u podebljani lim koji skošenjem prelazi u debljinu oplate čvrstog trupa. Tako se kompenzira oslabljenje nastalo prekidom kontinuiteta oplate.

Ispitivanja modela potvrdila su da odstupanja od kružnog oblika rebara i poprečnog presjeka čvrstog trupa negativno utječu na čvrstoću podmornice. Dozvoljena se odstupanja posebno proračunavaju za svaki čvrsti trup, već prema rezervi čvrstoće. Pri većim odstupanjima smanjuje se kritični tlak, a time i dubina ronjenja.

J. Zaninović

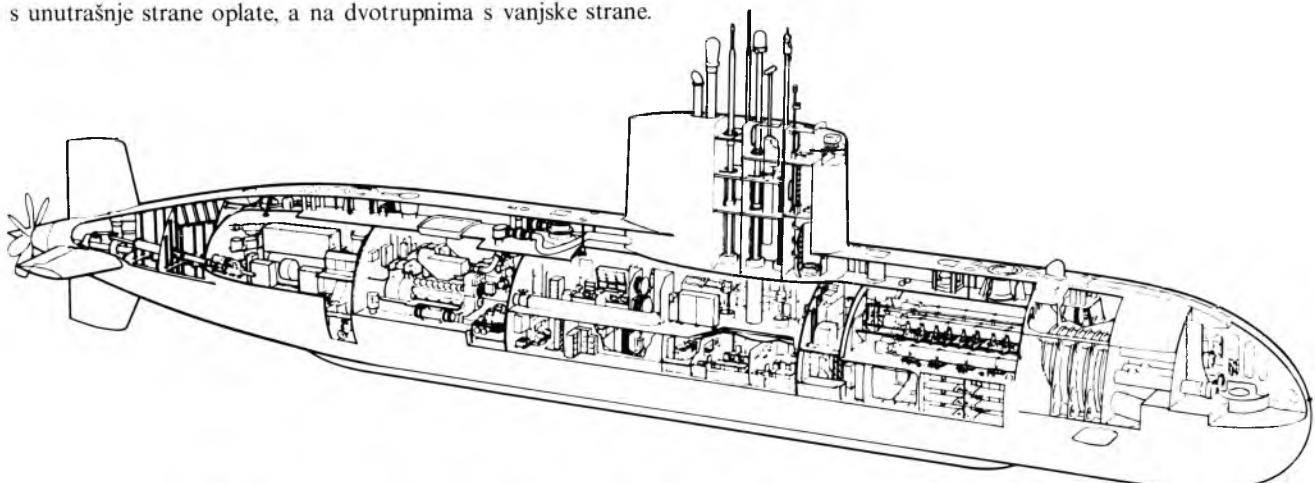
VRSTE PODVODNIH PLOVILA

Podvodna plovila služe za vojne ili ostale namjene.

Podvodna plovila za vojnu namjenu

Zadaci vojne podmornice mogu biti: izviđanje, napad, polaganje mina, diverzija, opskrba, spasavanje posade druge podmornice. Neki od tih zadataka često se kombiniraju i međusobno isprepliću. Kad jedan od navedenih zadataka prevlađuje, tada se govori o napadnoj, minopolažačkoj, diverzantskoj, opskrbnoj ili spasilačkoj podmornici. Za razliku od vojnih aviona, ne postoje posebne podmornice namijenjene samo za izviđanje, jer taj zadatak mogu obaviti podmornice ostalih vojnih namjena. Za diverzantsku i opskrbnu namjenu podmornice su obično posebne izvedbe, a nekad su takve bile i podmornice za polaganje mina. Suvremene podmornice polažu mine kroz torpedne cijevi ili pomoću posebnih nosača koji se privremeno pričvrste na bokove podmornice, pa zato nije potrebna posebna izvedba podmornice.

Napadne podmornice najčešća su verzija taktičkih podmornica. Sve strateške podmornice također su napadne namjene. Taktička napadna podmornica ima naoružanje (najčešće nuklearno) namijenjeno izvršavanju taktičkih zadataka. Vrsta



Sl. 17. Britanska konvencionalna torpedna napadna podmornica tipa 2400 (projekt tvrtke Vickers, 1979. god.)

PODMORNICA

pogona ne određuje namjenu napadne podmornice, pa postoje i napadne taktičke podmornice na nuklearni pogon. Prema naoružanju taktička podmornica može biti torpedna ili torpedno-raketna. Samo raketna napadna podmornica bit će možda tek sredstvo budućnosti. Već su davno nestale podmornice s artiljerijskim naoružanjem, bilo glavnim, bilo samo dopunskim.

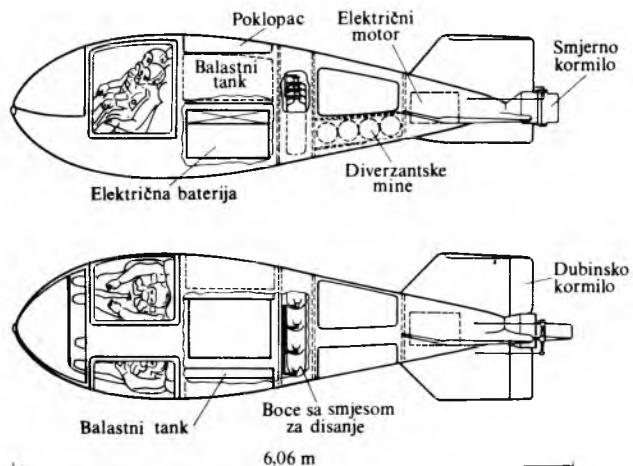
Torpedna napadna podmornica (sl. 17) napada samo torpedima, obično iz pramčanih, a rijetko iz krmenih i još rjeđe iz bočnih torpednih cijevi. U samoobrani može se suprotstaviti protupodmorničkim torpedom podmornici lovcu podmornica koja je posebna vrsta torpedne napadne podmornice.

Torpedno-raketna napadna podmornica taktičke namjene ima torpeda i taktičke rakete. Iste lansirne cijevi služe za izbacivanje i torpeda, i taktičkih raket.

Protuavionsko raketno naoružanje na nekim torpednim napadnim podmornicama ne mijenja njihov karakter, jer je to naoružanje obrambeno.

Strategijske napadne podmornice naoružane su balističkim raketama projektilima velikog dometa i velike razorne moći, najčešće s nuklearnom glavom. Takvu namjenu ima većina nuklearnih podmornica koje podvodno lansiraju raketu iz velikih, vertikalno smještenih raketnih cijevi. Te su podmornice dopunski naoružane i torpedima, najčešće radi obrane od podmornica lovaca.

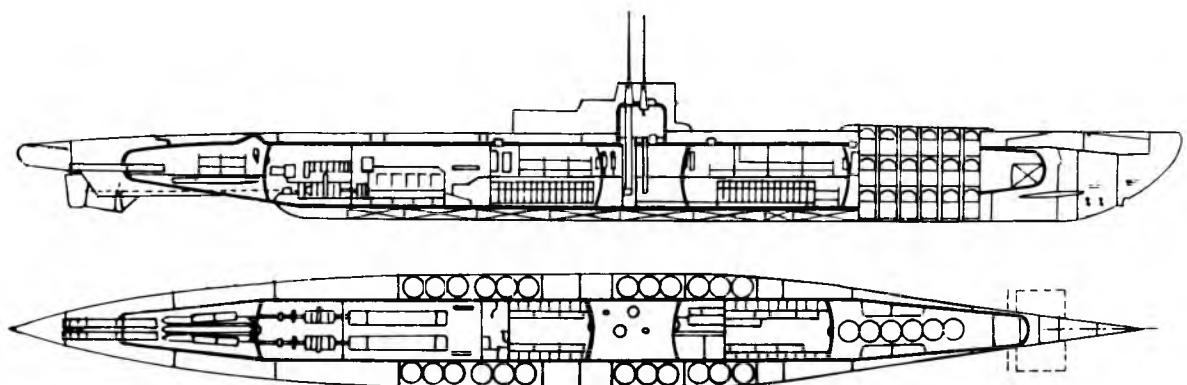
Minopolagačke podmornice (sl. 18) danas više ne postoje kao poseban tip, jer njihov zadatak obavljaju napadne taktičke podmornice. Nekadašnje minopolagačke podmornice bile su uglavnom veće napadne podmornice dopunski opremljene s jednim ili više posebnih bunara na dnu trupa koji su služili za spuštanje mina.



Sl. 19. Britanska mokra diverzantska ronilica

Tipovi, klase i veličine vojnih podmornica. U širem smislu razlikuju se dva tipa podmornica: tip ronilice i tip prave podmornice. U užem se smislu pod tipom podmornice ili ronilice u ratnoj mornarici SFRJ razumije izvedba podmornice izgrađene prema određenom prototipu koji se označuje šifrom, ili flotnim brojem, ili njegovim imenom, npr. podmornica tipa *Sutjeska*, tipa *Heroj* itd.

Klase podmornica u SFRJ dopunska je karakteristika namjene vezane s veličinom podmornice, npr. obalna, sredozemna



Sl. 18. Njemačka minopolagačka podmornica tipa XB, nadvodna istisnina 1763 t, podvodna istisnina 2177 t (1943. god.)

Diverzantske podmornice vrlo su male (patuljaste podmornice), tihe i dobro upravljive, a namijenjene su za prijevoz diverzanata i njihove opreme. One dovode diverzante na određenu udaljenost od cilja, pa ležeći na dnu ili usidrene pod vodom čekaju povratak diverzanata da ih odvezu natrag u bazu. Imaju komoru koja omogućuje da iz zaronjene podmornice istovremeno izade ili unide više diverzanata.

Posebna su diverzantska podvodna plovila *diverzantske mokre ronilice* (sl. 19) koje služe podvodnim diverzantima da brže i lakše dođu do cilja. Na manjim ronilicama diverzanti jašu, u većim sjede, a uvijek upotrebljavaju aparate za disanje pod vodom. Vrijeme što ga takva vozila mogu provesti pod vodom ograničeno je i fiziološkom sposobnošću diverzanata da podnesu hladnoću, disanje na aparat, struju vode i sl.

Opskrbne podmornice (sl. 20) imaju veliku istisninu i povećan prostor za prijevoz u prvom redu tekućeg goriva, ali i ostalih materijala. Opremljene su uredajima za prekrcavanje na otvorenom moru u konvencionalne podmornice koje obavljaju dugotrajnu i neprekinitu službu na oceanu. Opskrbne podmornice mogu prevoziti djelomične ili potpune smjene posada. Gradnja sve većih nuklearnih podmornica koje imaju vrlo veliku autonomiju s obzirom na gorivo i namirnice smanjila je u većini ratnih mornarica važnost opskrbnih podmornica.

ili oceansko-napadna podmornica i sl. U anglosaksonskim i nekim drugim ratnim mornaricama pod klasom se razumije ono što se u SFRJ smatra tipom, npr. britanske podmornice klase *Oberon* ili *O*-klase, njemačke podmornice klase 206 i sl.

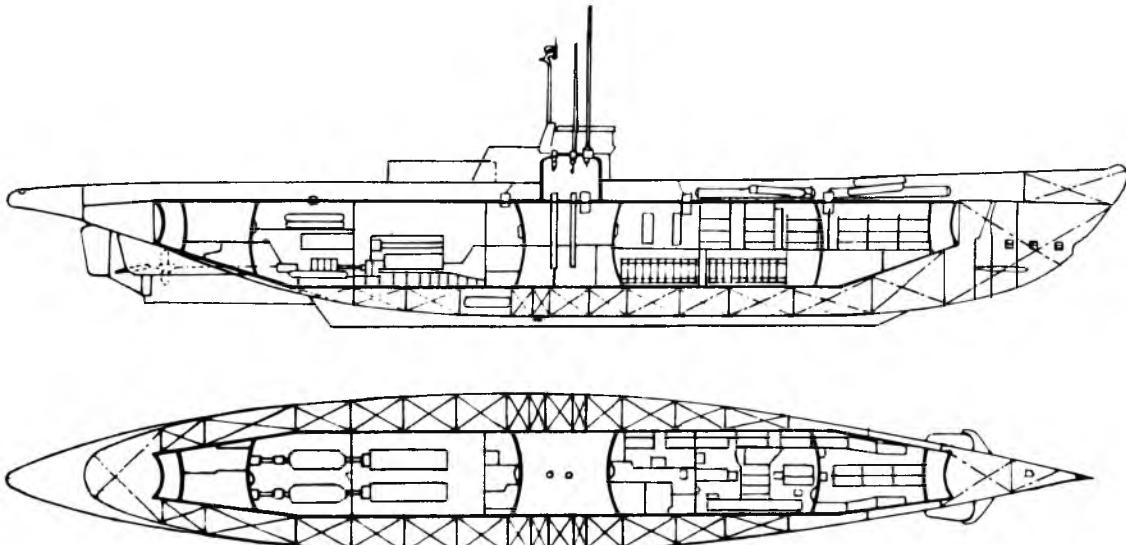
Veličina podmornice određena je njenom istisninom na površini vode, tj. težinom podmornice s normalnim zalihama. Male podmornice imaju površinsku istisninu 400–500 t, srednje do 1500 t, a velike više od 1500 t. Veličina podmornice može se definirati i njenom podvodnom istisninom, tj. površinskom istisninom uvećanom za težinu morske vode u glavnim balastnim tankovima. Najčešće se navode podaci za obje istisnine, a ponekad i podatak o *standardnoj istisnini*. Prema Londonском ugovoru iz 1936. godine standardna je istisnina jednakna normalnoj površinskoj istisnini umanjenoj za težinu morske i pitke vode te goriva i maziva u tankovima. Ipak, dimenzije podmornice najbolji su parametri za definiranje njene veličine.

Bitne karakteristike vojnih podmornica jesu: svojstva skrivenosti (daljina plovljena u zaronjenom stanju, način i brzina punjenja akumulatorske baterije na konvencionalnim podmornicama, šumnost vijka, trupa i uređaja, najveća podvodna brzina i dubina ronjenja, magnetska i hidroakustična refleksijska svojstva podmornice), ukupna i podvodna autonomija, naoružanje, sredstva osmatranja, upravljivost te broj članova posade. Pre-

Tablica 1
PREGLED KARAKTERISTIKA NEKIH PODMORNICA

Period	I svj. rat	II svj. rat				Period nakon II svj. rata							
Namjena podmornice Država	Taktička Njemačka	Taktička Njemačka	Taktička Njemačka	Taktička Njemačka	Taktička V. Brit.	Taktička SR Njem.	Taktička Italija	Taktička V. Brit.	Strateška SAD	Strateška SSSR	Strateška SSSR	Strateška SAD	
Oznaka, tip ili ime	U 81	TIP VII A	TIP XXI	TIP XXIII	»OBE- RON«	TIP »206«	»N. SAURO«	S101 »DREAD- NAUGHT«	SSBN 616 »LAFA- YETTE«	5+3 DELTA II	SSBN 726 »OHIO«		
Duljina × širina, m	70 × 6,25	66,5 × 6,2	76,5 × 6,6	34,2 × 2,95	90 × 8,1	48 × 4,7	63,85 × 6,83	81 × 9,8	129,5 × 10,1	152,5 × 12	170,7 × 12,8		
Povr. istisnina, t Podv.	808 946	769 871	1621 1819	232 256	2 030 2 410	400 600	1450 1630	3 500 4 000	7 320 8 250	9 000 11 000	16 600 18 700		
Najveća podv. brzina, čvorova	9	8	16	12,3	17(18)	17	19,3	30	30	oko 25	—		
Broj pog. vijaka Pogon	2 konvenc.	2 konvenc.	2 konvenc. + šnorkel	1 konvenc.	2 konvenc. + šnorkel	1 konvenc. + šnorkel	1 konvenc. + šnorkel	1 nuklearni	1 nuklearni	2 nuklearni	1 nuklearni		
Naoružanje	4 TC* 509 mm, 1 top	5 TC 533 mm, 1 top	6 TC 533 mm, 4 topa 20 mm	2 TC 533 mm	8 TC (6+2) 533 mm	8 TC 533 mm	6 TC 533 mm	16 »POLA- RIS« ili »POSEI- DON« raketa	16 raketa SS-N-8 + 4 TC	24 »TRI- DENT« raketa + + 4 TC			
Broj posade	38	44	57	14	68	14	45	88	145	110	133		

*TC torpedna cijev



Sl. 20. Njemačka opskrbna podmornica-tanker tipa XIV, nadvodna istisnina 1688 t, podvodna istisnina 1932 t (drugi svjetski rat)

gled karakteristika nekih starijih i suvremenijih podmornica prikazan je u tabl. 1.

B. Ryšlavý

Podvodna plovila ostalih namjena

Pojačan interes za podmorje i napredak tehnologije nakon drugoga svjetskog rata uvjetovali su burni razvoj raznovrsnih podvodnih plovila koja ne služe u vojne svrhe, kao što su ronilice, podvodna vozila, velike ronilačke sprave, podvodne nastambe, velike hidrometeorološke i navigacijske plutače itd. Po svojim su svojstvima najsličnije pravim podmornicama samo ronilice, jer su to podvodna plovila sposobna da samostalno rone, njima upravlja ljudska posada, a raspolažu svojim pogonom i višesatnom energetskom neovisnošću.

Danas postoji više od 80 vrsta i tipova ronilica, što je posljedica raznovrsnosti zadataka koje obavljaju, ali i dokaz da se još uvijek traga za pravom konstrukcijom, boljim materijalima, izdašnjim energetskim izvorima, te podesnjom vlastitom i pomoćnom opremom.

Ljudi i vitalni uređaji na ronilicama smješteni su u potpuno zatvoreni prostor sferičnog ili cilindričnog oblika (čvrsti trup ronilice) koji ih štiti od povećanog tlaka i ostalih utjecaja

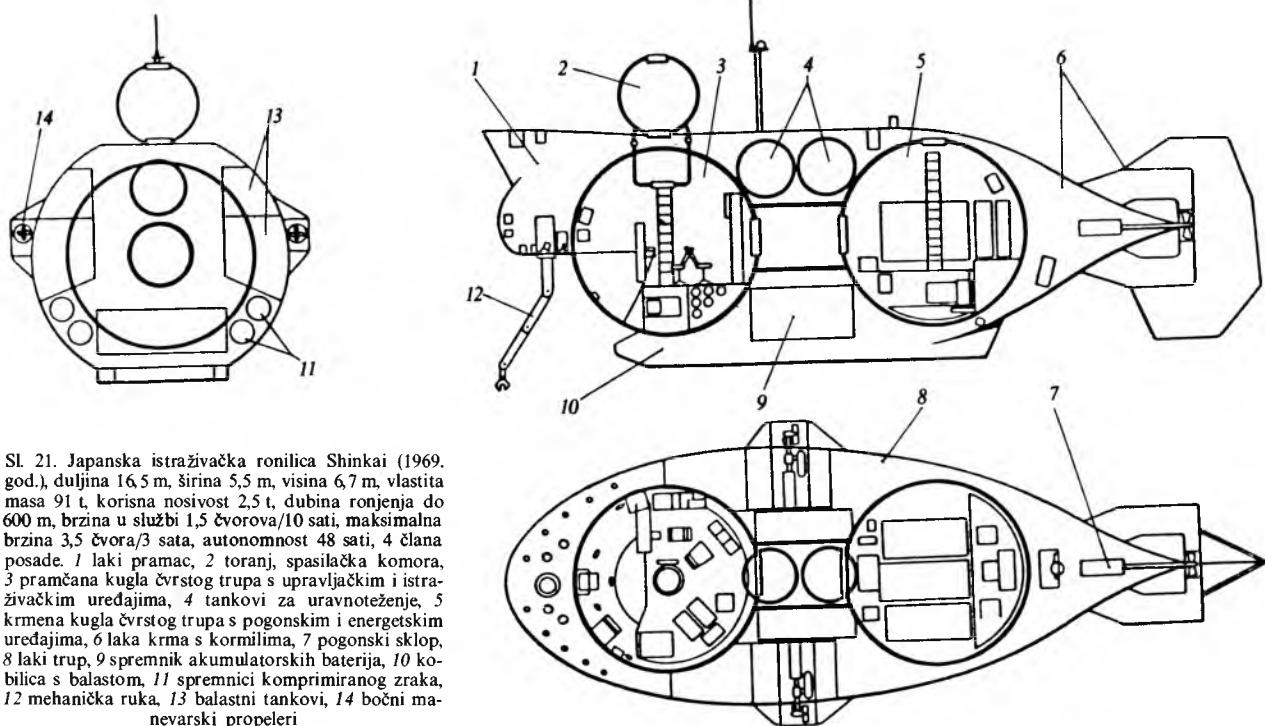
morskog okoliša (sl. 21). Različita pomoćna oprema i tankovi razmješteni su oko čvrstog trupa i iza njega, a obloženi su lagom konstrukcijom (lakim trupom) koja cijeloj ronilici daje podesan hidrodinamički oblik. Većina dubokovodnih ronilica ima sferičan čvrsti trup promjera ~2m, izrađen od čelika visoke čvrstoće, s više osmatračkih prozoriča na prednjem dijelu.

Zbog sve većih dubina ronjenja mora se povećati debljina stijenke čvrstog trupa ronilice, pa njena težina postaje veća od uzgona i ronilica gubi plovnost. Zato se povećava volumen ronilice tako da se u lakom trupu prostori ispune laganim materijalima, npr. drvom, petrolejem, lopticama u masi epoksidne smole, ekspandiranim poli(vinil-kloridom) itd.

Najveći dio površine morskog dna pokriven je muljem, glinom ili debelim naslagama mekanog taloga različitog porijekla. Zbog toga mnoge ronilice imaju specijalne noge s kojima sjednu na morsko dno. Te su noge najčešće odbacive, pa ih se ronilica može oslobođiti ako se zaglavaju u mulju.

Veličina ronilica ovisi o njihovoj namjeni, a uglavnom raste s dubinom ronjenja, brojem posade i količinom opreme. Njegina se veličina povećava ako ima ronilačku komoru ili komoru za spasavanje. Također radi veće autonomije, tj. boljih životnih

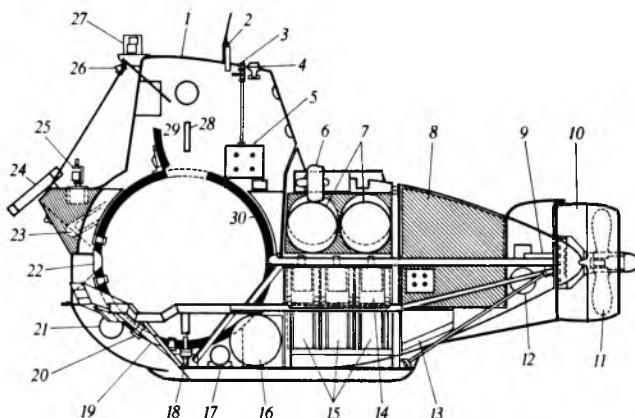
PODMORNICA



Sl. 21. Japanska istraživačka ronilica Shinkai (1969.), duljina 16,5 m, širina 5,5 m, visina 6,7 m, vlastita masa 91 t, korisna nosivost 2,5 t, dubina ronjenja do 600 m, brzina u službi 1,5 čvorova/10 sati, maksimalna brzina 3,5 čvora/3 sata, autonomnost 48 sati, 4 člana posade. 1 laki pramac, 2 toranj, spasilačka komora, 3 pramčana kugla čvrstog trupa s upravljačkim i istraživačkim uređajima, 4 tankovi za uravnoteženje, 5 krmena kugla čvrstog trupa s pogonskim i energetskim uređajima, 6 laka krma s kormilima, 7 pogonski sklop, 8 laki trup, 9 spremnik akumulatorskih baterija, 10 kobilica s balastom, 11 spremnici komprimiranog zraka, 12 mehanička ruka, 13 balastni tankovi, 14 bočni manevrski propeleri

uvjeta i većih zaliha energije, povećavaju se dimenzije ronilice i ona se pretvara u pravu podmornicu.

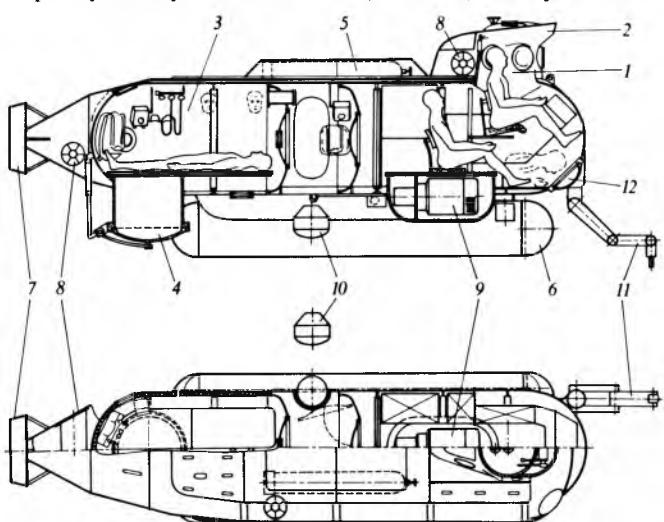
Zbog nepodesnog oblika trupa i velikih privjesaka (manipulatori, reflektori, noge itd.) brzine ronilica su male, obično 2...5 čvorova. Ronilicama je mnogo važnije da mogu precizno manevrirati u svim smjerovima prilikom obavljanja podvodnih radova, pa tako često imaju više pomoćnih manevarskih propulzora koji djeluju kao aktivna kormila i omogućuju kormilarenje na mjestu. Kao osnovni izvori energije služe olovne ili srebro-cinkove baterije, a u posljednje vrijeme ispituju se gorive ćelije, vruće baterije i motori sa zatvorenim krugom izgaranja. Danas se nastoji da se bez povećanja težine i prostora ronilice poveća izvor energije koja služi za rasvjetu, za navigacijsko-osmatračke uređaje, za rad različitih pomoćnih uređaja, za manipulatore i ostalu opremu ronilice.



Sl. 22. Istraživačka ronilica Alvin (SAD, 1964.), duljina 7 m, širina 2,4 m, visina 4 m, vlastita masa 14,5 t, korisna nosivost 540 kg, dubina ronjenja do 3500 m, radijus plovjenja 10-15 morskih milja, brzina u službi 1,3 čvora, maksimalna brzina 3 čvora, 3 člana posade, autonomost 72 sata. 1 lako nadgrade, 2 radio-plutač, 3 udrušnik balastnog tanka, 4 podvodni telefon, 5 utičnica za punjenje baterije, 6 manevrski propeleri, 7 spremnici komprimiranog zraka, 8 uzgonski materijal, 9 kormilarski uređaj, 10 kormilo, 11 propulzijski hidromotor i propeler, 12 krmeni trim-tank, 13 pogonski uređaj, 14 električni razvodni uređaj, 15 akumulatorska baterija, 16 tank za uravnoteženje, 17 balastna pumpa, 18 uređaj za odbacivanje čvrstog trupa, 19 donji prozor, 20 priključak za napajanje vanjskih potrošača, 21 pramčani trim-tank, 22 prednji prozor, 23 kamere i stroboskop, 24 TV kamera, 25 sonar, 26 reflektor, 27 brzinski nomjer, 28 dubinomjer, 29 poklopac ulaza u čvrsti trup, 30 čvrsti trup

Prema namjeni, ronilice se razvrstavaju na istraživačke, prirodne i turističke, ali ih se može i drugačije razvrstati: prema dubini ronjenja (ronilice malih, srednjih, velikih i graničnih dubina), prema autonomnosti (samostalne ili privezane ronilice), prema sposobnosti i načinu ronjenja (ronilice s uzgonskim dijelom ili bez njega, batiskafi, te mokre ili suhe ronilice) itd.

Istraživačke ronilice (sl. 22) važne su za istraživanje podmorja, jer omogućuju neposredan uvid u područje koje se proučava i izbor uzorka tamo gdje se želi (v. *Oceanografija*, TE 9, str. 569). Upotrebljavaju se za rad na svim dubinama i za mnoge istraživačke zadatke kao što su: kartografsiranje morskog dna, mjerjenja i snimanja različitih pojava u moru i na morskom dnu, proučavanje morskih struja, magnetskih polja, gravitacije, hidroakustičkih osobitosti, istraživanja u oblasti energetike, ribarstva, biologije mora itd. Za te je zadatke ronilica opremljena brojnim instrumentima, sondama, televizijskim i film-

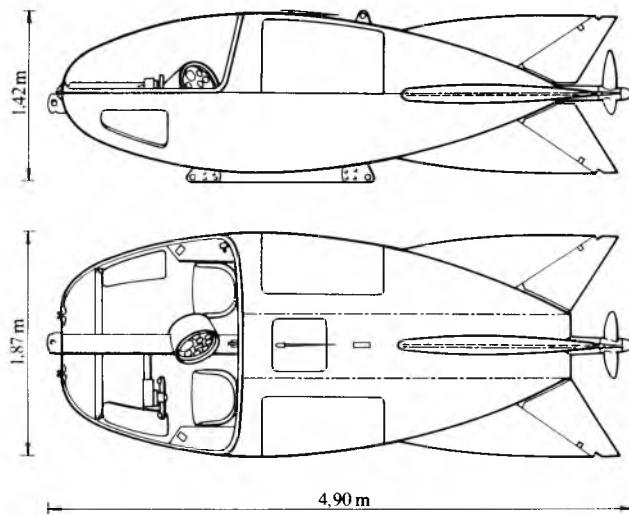


Sl. 23. Njemačka ronilica Mermaid III tvrtke Bruker, izgrađena i ispitana 1975. godine, duljina 7,2 m, širina 1,8 m, visina 2,7 m, vlastita masa 12,7 t, granična dubina ronjenja 260 m, brzina 1,5 čvora/10 sati, najveća brzina 2,5 čvora/4 sata, podvodna autonomost 160 sati, 4 člana posade. 1 pramčani upravljački dio, 2 toranj, 3 ronilačka komora, 4 podvodni izlaz, 5 laki trup, 6 baterijski cilindri, 7 glavni propulzor, 8 manevrski propulzori, 9 elektrohidraulički agregat, 10 sidro, 11 manipulator, 12 okno

skim kamerama, napravama za prikupljanje uzoraka, a veće istraživačke ronilice imaju i prave male laboratorije.

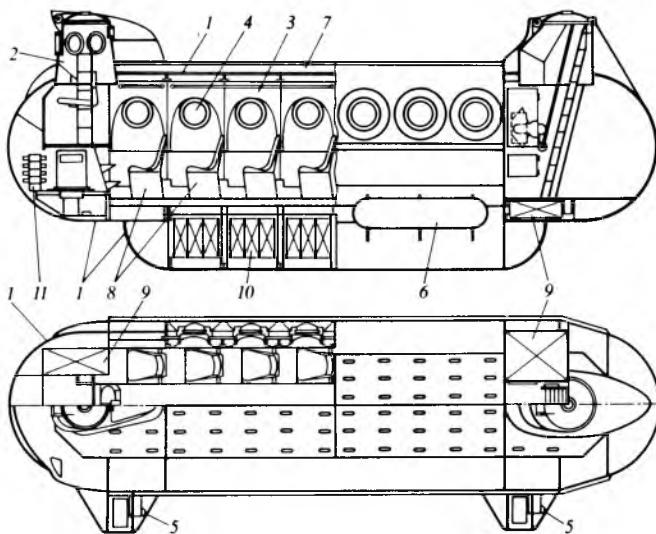
Privredne ronilice (sl. 23) služe, uz ostale uredaje, za eksploraciju naftne i zemnog plina s morskog dna, za rad na una-predjenju ribarstva i ribogojstva, za vađenje slatke vode i drugih tvari iz morske vode, djeluju u sistemima za zaštitu obale, plovnih putova, mora i života u moru, a obavljaju i mnoge druge zadatke kao što su dubokovodno spasavanje, nadzor i održavanje podvodnih instalacija itd. Privredne ronilice grade se za dubine ronjenja od 200...300m. Opremljene su s jednim ili dva snažna manipulatora s kompletним podvodnim alatom i gotovo redovito s izlaznom komorom i opremom za podršku ronilaca.

Podvodni radovi još su uvijek vrlo skupi, pa se i primjena ronilica u privredne svrhe isplati samo na vrlo unosnim poslovima. Zato je danas većina privrednih ronilica vlasništvo kompanija za vađenje naftne. Zbog malih eksploatacijskih troškova često se upotrebljavaju mokre ronilice za nadzor i transport u blizini bušačih platformi (sl. 24).



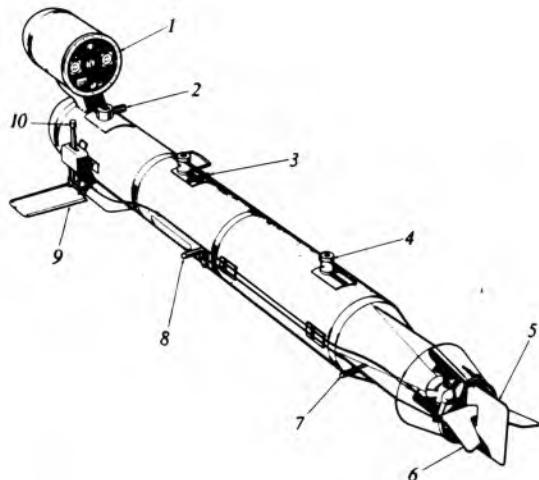
Sl. 24. Britanska mokra ronilica dvosjed DTV A2, vlastita masa 2,5 t, brzina do 7 čvorova, autonomnost 6 sati. Služi za prijevoz ljudi i materijala do 80 m dubine i do 30 morskih milja daljine

Turističke ronilice (sl. 25) još su vrlo malobrojne. Zbog visoke cijene nisu dostupne turističkim organizacijama, a još manje pojedinциma. Dosad je izgrađena samo jedna prava turistička



Sl. 25. Njemačka turistička ronilica Brüker Turist Sub 150 (projekt iz 1973. god.), duljina 8,6 m, širina 3,6 m, visina 3,6 m, vlastita masa 24 t, dubina ronjenja do 150 m, brzina 4 čvora/5 sati, nosivost 16 ljudi (2 pilota i 14 putnika). 1 čvrsti trup, 2 pilotski prostor, 3 prostor za putnike, 4 prozor, 5 hidraulički motor i propeler, 6 spremnici zraka, 7 balastni tank, 8 tank za uravnovešenje, 9 trim-tank, 10 glavna akumulatorska baterija, 11 pogonskoenergetski uredaj

ronilica *Auguste Piccard*, koja je na Svjetskoj izložbi EXPO 64, održanoj 1964. godine u Švicarskoj, prevezla više od 30000 posjetilaca po dubinama Ženevskega jezera. Međutim, i ta je ronilica 1968. godine prodana jednom američkom poduzeću za komercijalna podvodna ispitivanja.



Sl. 26. Britanska mokra ronilica DTV B (1972. god.), duljina 4,9 m, promjer trupa 0,3 m, vlastita masa 0,59 t, granična dubina ronjenja 80 m, brzina do 5 čvorova, duljina plovjenja 24 morske milje. 1 navigacijski uredaj, 2 utičnica za punjenje akumulatorske baterije, 3 rukohvat, 4 podešivi oslonac, 5 kormilo, 6 krmeni hidroplan, 7 čvrsti cilindar u kojem su smješteni pogonski uredaj i akumulatorska baterija, 8 kormilaarska pedala, 9 pramčani hidroplan, 10 palica za upravljanje pogonom i hidroplanima



Sl. 27. Teška dizalica za rad s ronilicom Mermaid, smještena na krmili matičnog broda

Mokre ronilice ne pružaju posadi zaštitu od tlaka, hladnoće, strujanja vode i drugih utjecaja okoliša. Taj se tip ronilica upotrebjavao još u prvome svjetskom ratu za diverzantske napade, a danas se primjenjuje za podvodne radeve (uglavnom za transport ljudi i materijala na manje udaljenosti) ili za razonodu. Iako su mokre ronilice jednostavnije i mnogo jeftinije od suhih ronilica, manje se upotrebljavaju jer im je radna dubina malena (do 30 m, a samo izuzetno 100–120 m) i jer mogu najviše 4–5 sati ostati zaronjene. Manji tipovi su jednosedi, nemaju zatvorenu kabinu, a brzina im nije veća od 3 čvora (sl. 26). Veće mokre ronilice imaju naplavljivu, hidrodinamički oblikovanu kabinu koja pruža posadi mnogo veću udobnost, a omogućuje da se postignu i dvostruko veće brzine.

Male mokre ronilice s najjednostavnijom navigacijskom opremom i s jednostavnim pogonskoenergetskim uredajem, izgrađene od stakloplastike, jedina su podvodna plovila koja sportska ronilačka društva mogu nabaviti za aktivnosti i rekreaciju svojih članova.

Zbog malih dimenzija, male zalihe energije i slabe pomorsvenosti ronilicama bilo koje vrste potrebna je neposredna podrška s površine. Brodovi i platforme za podršku ronilica opremljeni su dizalicama sa specijalnim hvatačima za rad po nemirnom moru (sl. 27) do stanja 3, odnosno po valovima visine i do 2 m, mada ima primjera kad se radilo i po većim valovima. Matični brod prevozi ronilicu na palubi, ili je tegli do mjesta ronjenja, pa tamo ostaju zajedno više sati ili dana.

D. Kajić

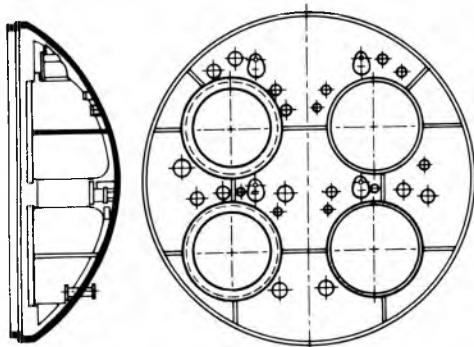
KONSTRUKCIJA PODMORNICE

Zaronjivanje na velike dubine, velika brzina i dobra upravljivost, ugrađeno naoružanje i hidroakustički sistemi bitni su faktori prema kojima se izabire oblik trupa, građevni materijal i tehnologija gradnje podmornice. Dobro odabran oblik trupa i upotreba kvalitetnih materijala mnogo utječe na čvrstocu i težinu trupa koji treba biti što lakši da bi se u podmornicu moglo ugraditi što više korisne opreme.

Trup podmornice

Ukupna težina konstrukcije trupa iznosi 40–65% težine podmornice, a sastoji se od težine čvrstog trupa i težine lakog trupa.

Čvrsti trup podmornice nepropusni je dio podmornice koji se suprotstavlja hidrostatskom tlaku okolne vode i koji je osnovni dio konstrukcije podmornice. Težina čvrstog trupa iznosi 15–25% težine podmornice, u njega je ugrađena sva osnovna oprema podmornice i u njemu je smještena posada. Čvrsti je trup kružnog poprečnog presjeka. Promjer čvrstog trupa najvećih nuklearnih podmornica veći je od 10 m, a dizelsko-električne podmornice od 500–1000 t istinsne imaju promjer od 4,5–6,5 m. Srednji je dio čvrstog trupa cilindar koji prema krajevima prelazi u odsječene stože, a na te se nadovezuju završeci čvrstog trupa, tzv. čela (sl. 28).

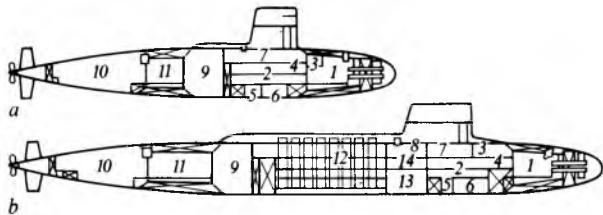


Sl. 28. Šterično čelo pramca podmornice

Plašt čvrstog trupa sastoji se od oplate i rebara. Oplata je sastavljena od međusobno zavarenih limova debljine 18–30 mm, a mjestimično debelih i više od 40 mm. Unutar trupa

ugrađeni su čvrsti tankovi, više lakih tankova za tlakove od 0,5–4 bar, a čitav je prostor podijeljen teškim i lakim prečnim pregradama te lakim uzdužnim pregradama i palubama na radne, stambene i pomoćne prostorije (sl. 29).

Na čvrstoj je trup zavarena čelična kobilica u obliku kutije. Kobilicom podmornica sjeda na morsko dno, a pri dokovanju na potklade. U unutrašnjim šupljinama kobilice smješten je čvrsti balast koji iznosi 1,5–3% ukupne težine podmornice.



Sl. 29. Raspored prostorija na američkim nuklearnim podmornicama. a nuklearna podmornica Skipjack, b nuklearna podmornica »G. Washington«. 1 torpedni odsek, 2 stambeni prostor, 3 kabine oficira, 4 blagovaonica posade, 5 spremište, 6 akumulatorska baterija, 7 centrala za upravljanje podmornicom, 8 navigacijski odsek, 9 reaktorski odsek, 10 turbinski odsek, 11 pomoći strojevi, 12 raketni odsek, 13 girostabilizator, 14 odsek za upravljanje raketnom paljborom

Laki trup podmornice. Za razliku od čvrstog trupa, laki trup podmornice nije podvrgnut hidrostatskom tlaku okolne vode, pa je njegova konstrukcija mnogo laganija. U zaronjrenom položaju laki je trup napavljen i otvoren prema moru, pa hidrostatski tlak djeluje s vanjske i unutrašnje strane oplate i tako se poništava. Laki trup mora izdržati opterećenje udaraca valova u površinskoj vožnji, te dinamička djelovanja vode i komprimiranog zraka kad se pire glavni balastni tankovi. Prema tim se opterećenjima određuje debljina oplate (3–8 mm) i ukrućenja oplate rebrima. Poprečne pregrade u lakovom trupu određene su rasporedom i namjenom tankova.

Naplavljivo nadgrađe, kao dio lakovog trupa suvremenih podmornica, veoma je smanjeno, a novije ga nuklearne podmornice praktički i nemaju radi manjeg otpora u podvodnoj vožnji. Čvrsti toranj, teleskopske antene radara i sredstava veze, šnorkel i periskopi okruženi su malim mostom hidrodinamičkog oblika. Unutrašnja konstrukcija mosta ujedno služi kao nosač dubinskih kormila, koja su na novijim podmornicama premještena s pramčanog dijela prema sredini trupa i smještena na bočne strane mosta. Nadgrađe i most izrađuju se od čelika, od aluminijskih legura otpornih na morsknu vodu i od ojačanog poliesterja. Nadgrađe od ojačanog poliesterja ima mnoge prednosti jer je male težine i lako se održava.

Na krmenom završetku lakovog trupa ugrađeni su stabilizatori za stabilnost kursa u podvodnoj plovidbi. Neke nuklearne podmornice nemaju vertikalne stabilizatore, jer već dobar oblik trupa sam dovoljno utječe na dobru upravljivost u horizontalnoj ravnini.

Jednotrupne i višetrupne podmornice

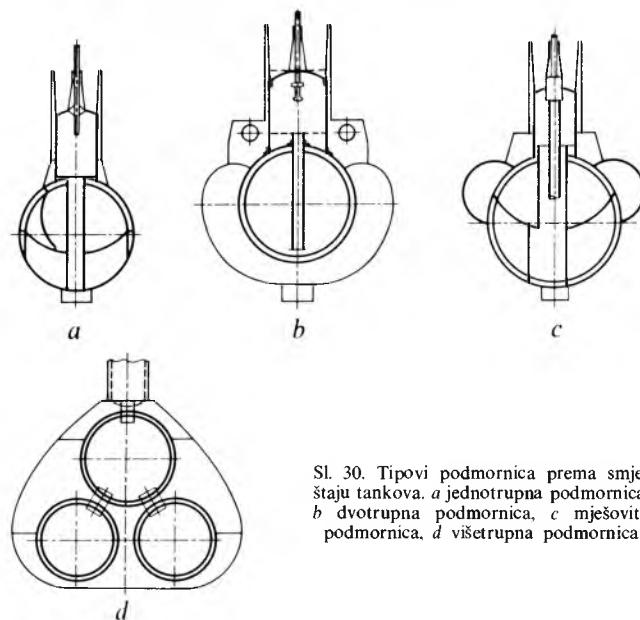
Konstrukcijske razlike trupa podmornice ogledaju se u smještaju glavnih balastnih tankova, tankova goriva i tanka uravnoteženja (reglera). Prema tom smještaju mogu se podmornice razvrstati na jednotrupne, dvotrupne, mješovite i višetrupne.

Jednotrupne podmornice (sl. 30a) imaju glavne balastne tankove na pramčanom i krmenom završetku lakovog trupa. Naplavljivanjem tih tankova poništava se veći dio rezervne plovnosti, a ostali dio poništava se naplavljivanjem ostalih glavnih balastnih tankova ugrađenih u čvrstom trupu podmornice. Na većem dijelu duljine oplate čvrstog trupa ujedno je vanjska oplata podmornice.

Jednotrupne podmornice imaju manju istisninu. Prednost im je da u podvodnoj vožnji imaju veću brzinu, dobra manevarska svojstva, veliku dubinu ronjenja i povoljniju žilavost. Nisu podesne za površinsku vožnju po većim valovima jer imaju malo nadgrade i nepovoljniji stabilitet od dvotrupne podmornice.

Dvotrupne podmornice (sl. 30b) imaju dvostruku oplatu; unutrašnja je oplata čvrste, a vanjska lagane izvedbe. U po-

prečnom presjeku oplata lakog trupa obuhvaća po cijeloj duljini oplatu čvrstog trupa. U međuprostoru su smješteni glavni lastni tankovi i tankovi goriva.



Sl. 30. Tipovi podmornica prema smještaju tankova. a jednotrupna podmornica, b dvotrupna podmornica, c mješovita podmornica, d višetrupna podmornica

Dvotrupne podmornice odlikuju se dobrom pomorstvenošću u površinskoj vožnji. Imaju veće nadgrađe i veću rezervnu plovnost od jednotrupsnih podmornica, a po obliku nadvodnog dijela trupa slične su površinskom brodu. Takav oblik i konstrukcija trupa nastali su da bi podmornica mogla izvršavati borbene zadatke na svim morima, pojedinačno ili u sastavu flote površinskih brodova. Dvotrupna je konstrukcija prevladavala u vrijeme dok je podmornica bila ronilica, tj. površinski brod koji je po potrebi mogao zaroniti. U podvodnoj je vožnji dvotrupna podmornica troma i nepodesna za brze manevre.

Mješovite podmornice (sl. 30c) imaju dio balastnih tankova unutar čvrstog trupa, a drugi dio u lakom trupu po čitavoj duljini, ali ne i po cijelom poprečnom presjeku podmornice. Da bi se sve veće količine opreme i uređaja smjestile unutar relativno malih podmornica i da im se poboljša pomorstvenost, konstruiran je laki trup u obliku ispuštenja na gornjem dijelu čvrstog trupa podmornice. Osim toga, na malim podmornicama do 500 t istisnine ne bi se mogli smjestiti uski tankovi u lakom trupu po cijelom poprečnom presjeku, pa bi s vremenom bila ugrožena i čvrstoča čvrstog trupa. Nakon što je uveden šnorkel, male jednotrupne podmornice pretežno plove zaronjene, pa je time nestalo razloga da se grade podmornice mješovite konstrukcije.

Višetrupna podmornica (sl. 30d) konstruirana je nakon drugoga svjetskog rata u Nizozemskoj. Sastoji se od tri paralelno spojena, cilindrična čvrsta trupa manjeg promjera. U dva donja cilindra istog promjera smješteni su pogonski strojevi, pomoći uređaji i akumulatorska baterija. U gornjem cilindru, nešto većeg promjera, nalazi se naoružanje, sistemi detekcije, upravljanje i posada. Između cilindara su prolazi s nepropusnim vratima. Cilindri su obavijeni lakisim trupom, a međuprostor je ispunjen tankovima balasta i goriva.

Takva je konstrukcija nastala da bi čvrsti trup, izrađen od običnog brodograđevnog čelika, mogao izdržati veće dubine ronjenja. Naime, potrebna čvrstoča trupa postigla se manjim promjerom cilindra, jer je cilindar manjeg promjera mnogo otporniji na hidrostatski tlak nego cilindar većeg promjera. Ratne mornarice ostalih zemalja nisu prihvatile višetrupnu podmornicu, nego su dubinu ronjenja povećavale postupno, primjenom kvalitetnijih čelika i usavršavanjem oblika otpornijih na hidrostatski tlak.

Materijali za gradnju podmornica

Osnovni materijal za gradnju podmornica jest čelik. Kvaliteta čelika od kojeg je izrađen čvrsti trup najvažniji je faktor

čvrstoče trupa o kojoj ovisi dubina ronjenja podmornice. Čelik za gradnju čvrstog trupa mora imati visoku granicu razvlačenja, velik modul elastičnosti, dobra plastična svojstva, veliku žilavost, dobra svojstva zavarljivosti, dobru mehaničku obradivost na hladno, te mora biti otporan prema zamoru i koroziji. Te karakteristike mogu zadovoljiti posebni čelici, obično niskolegirani i termički obrađeni (tabl. 2).

Tablica 2
MEHANIČKE KARAKTERISTIKE MATERIJALA ZA GRADNJU ČVRSTOG TRUPA PODMORNICE

Vrsta materijala	Granica razvlačenja N/mm ²	Granica istezanja N/mm ²	Elastičnost %	Gustoća kg/dm ³	Primjedba
Čelik HT-60	405,2	591,5		7,85	Izgrađen čvrsti trup <i>Nautilusa</i>
Čelik HY-80	590,5 do 613,1	711,2 do 755,4	23 do 24	7,85	Izgrađen čvrsti trup <i>Skipjacka</i>
Čelik HY-100	786,8	876	22	7,85	Izgrađen čvrsti trup <i>Treshera</i>
Čelik HY-150	1049,7	1102,6	16	7,85	
Čelik HY-230	1585,3	1830,5	10	7,85	U stadiju razvoja
Titan	345,3	505,2	22	4,50	Upotreba za istraživačke podmornice
Legura titana sa 8% Al, 1% Mo, 1% V	824	981	10	4,50	
Legura aluminija 7079 T6	412 do 441,5	534,5	14	2,76	Izgrađen <i>Aluminat</i> za dubinu ronjenja 4 600 m
Stakloplastika s epoksidnom smolom	549,4 do 686,7			1,9 do 2,2	

Poslije drugoga svjetskog rata posvećena je velika pažnja razvoju čelika povećanih mehaničkih svojstava. Prve američke nuklearne podmornice izrađene su od čelika HT-60, britanske od QT-28 i QT-35. Za gradnju čvrstog trupa SSSR je razvio čelik SHL i KM, Japan NS-63, a naša zemlja Nionicral.

U posljednje u vrijeme u SAD proizведен čelik HY-80 koji, uz povoljan oblik trupa podmornice, omogućuje velike radne dubine ronjenja H_r . U toj porodici čelika razvijen je čelik HY-100. Podmornica povoljnoga kružnog oblika čvrstog trupa od čelika HY-100 može zaroniti na dubinu do 400 m. Međutim, danas se nastoji da podmornica roni i na dubinama od 600–800 m, a za to su prikladni čelici HY-150 i HY-230. Ti su čelici već proizvedeni u laboratoriju, a nalaze se dijelom i u industrijskoj proizvodnji. Visoka granica razvlačenja i visoka žilavost pri niskim temperaturama daju tim čelicima visoku dinamičku čvrstoču. Međutim, tehnološke teškoće u izradbi čvrstog trupa od tih čelika ograničuju njihovu širu primjenu u gradnji podmornica.

Za gradnju podmornica dolaze u obzir i legure aluminija jer imaju visoku granicu razvlačenja s obzirom na malu gustoću. Zato aluminijска konstrukcija može biti mnogo deblja, a time i sigurnija na izvijanje. Tako je npr. čvrsti trup istraživačke podmornice *Aluminat* izrađen od sekcija s oplatom debljine 165 mm.

Titan i njegove legure odlikuju se relativno visokim granicama razvlačenja, malom gustoćom, nemagnetičnošću i otpornosću prema koroziji. Međutim, zbog nedovoljne otpornosti na udar i zbog visoke cijene titan se upotrebljava samo za gradnju istraživačkih podmornica.

Danas se laboratorijski ispituju različiti ojačani poliesteri koji bi prema svojstvima mogli poslužiti za gradnju čvrstog trupa podmornice. Teorijski i praktično se istražuju tzv. sendvič-konstrukcije čvrstog trupa sastavljenog od dviju koncentričnih oplata bez orebreja. Prostor između unutrašnjeg cilindra od

čelika visoke čvrstoće i vanjskog cilindra od luke legure ispunjen je lakim materijalom. Takva bi konstrukcija imala mnogo povoljniji omjer čvrstoće i težine nego konvencionalne konstrukcije.

J. Zaninović

POGONSKO POSTROJENJE PODMORNICE

Prema pogonskoj energiji bitno se razlikuju konvencionalna pogonska postrojenja podmornica, koja pretvaraju kemijsku energiju goriva ili energiju iz različitih akumulatora energije u rad propulzije, od postrojenja na nuklearno gorivo. Zato se prema pogonskom postrojenju podmornice razvrstavaju na konvencionalne i na nuklearne.

Od početka razvoja podmornica tražilo se pogonsko postrojenje kojemu za rad nije potreban zrak, tako da može služiti za pogon podmornice i u podvodnoj i u površinskoj plovidbi. Izgledalo je da nuklearni pogon predstavlja takvo rješenje, ali s vremenom se pokazalo da nuklearna podmornica, zbog svoje veličine, nije pogodna za operacije u uskim morima i priobalnom pojasu, a, osim toga, njena je cijena vrlo visoka. Zato se usporedio s razvojem i gradnjom nuklearnih podmornica dalje razvijaju i grade moderne podmornice s konvencionalnim pogonom.

U tabl. 3 vidi se pregled podmornica izgrađenih u razdoblju od 1961. do 1978. godine. Ako se uzmu u obzir i podmornice izgrađene prije 1961., tada je postojeci podmornica s konvencionalnim pogonom više nego nuklearnih podmornica.

Tablica 3
PREGLED IZGRAĐENIH PODMORNICA U RAZDOBLJU
1961–1978. GODINE

Tip	Broj	Ukupna istisnina t	Ukupna pogonska snaga kW
Nuklearne podmornice	280	1867000	4700000
Konvencionalne podmornice	201	218000	371500

Nuklearne podmornice redovito imaju veliku istisninu i veliku instaliranu snagu; istisnina iznosi 3500–16000 t, a instalirana snaga 11000–30000 kW. U podvodnoj vožnji mogu neograničeno vremena ploviti brzinom od 25–30 čvorova.

Suvremene konvencionalne podmornice imaju manju istisninu i manju instaliranu snagu od nuklearnih, a mogu ploviti maksimalnom podvodnom brzinom od 17–22 čvora tokom ~ 1 sata, dok su im brzine krstarenja mnogo manje.

Specifičnosti podmorničkog pogona. U relativno malom prostoru podmornice nalaze se brojni strojevi i uređaji velike snage. Kao popratna pojava u radu tih strojeva nastaje buka koja se prenosi na okoliš. Buka što se prenosi zrakom u prostor podmornice može uzrokovati psihičke smetnje i oštećenja sluha članova posade, a dio energije zvuka prenesen preko strukture trupa na okolnu vodu stvara podvodni šum koji otkriva položaj podmornice. Zato se već pri izradbi projekta nastoje izbjegći svi izvori buke. To se provjerava hidroakustičkim mjeđenjima prilikom ispitivanja podmornice.

U drugome svjetskom ratu pokazalo se da dok čvrsti trup podmornice može izdržati snažne eksplozije dubinskih bombi, teška oštećenja nastaju na osovinskom vodu, temeljima motora, akumulatorskoj bateriji itd. Ta su oštećenja posljedica dinamičkih udara koji se prenose preko oplate čvrstog trupa i preko rebala na postolja strojeva i uređaja. Otpornost na udare u podmornici postiže se elastičnim temeljenjem, konstrukcijom i povoljnim smještajem strojeva. Elastičnim temeljenjem može se udar prigušiti 10–20 puta.

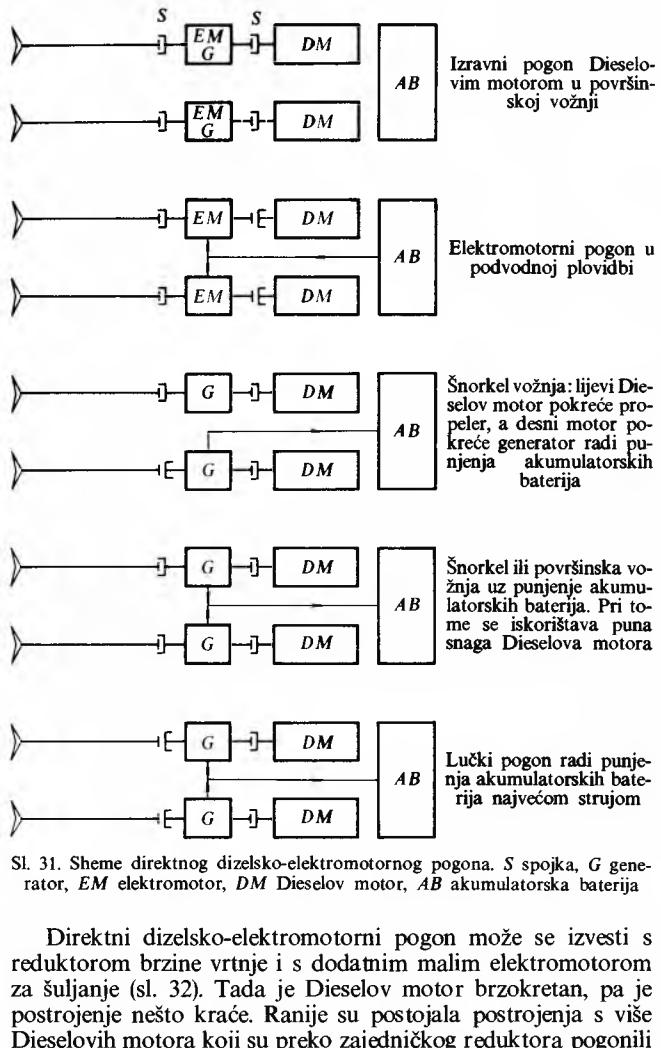
POGONSKA POSTROJENJA KONVENCIONALNE PODMORNICE

Dizelsko-električno pogonsko postrojenje

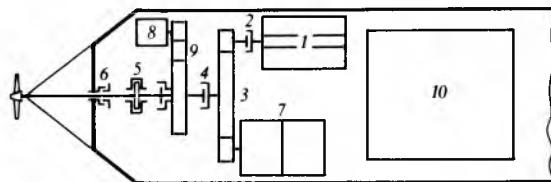
Dizelsko-električno pogonsko postrojenje konvencionalne podmornice sastoji se od postrojenja za površinsku, odnosno šnorkel vožnju, i postrojenja za podvodnu plovidbu. Kao sprem-

nik energije u površinskoj vožnji služi dizelsko gorivo smješteno u tankovima goriva, dok za podvodnu plovidbu služi električna energija iz akumulatorske baterije.

Direktni dizelsko-elektronički pogon. U površinskoj vožnji ili u šnorkel vožnji sporokretni Dieselov motor pogoni direktno brodski vijak ili električni generator (sl. 31). Radi jednostavnije regulacije rada generatora, u šnorkel vožnji obično jedan Dieselov motor pogoni vijak, a drugi pogoni generator koji puni akumulatorsku bateriju. U podvodnoj vožnji za pogon brodskog vijka služi elektromotor napajan strujom iz akumulatorske baterije.



Direktni dizelsko-elektronički pogon može se izvesti s reduktorom brzine vrtnje i s dodatnim malim elektromotorom za šuljanje (sl. 32). Tada je Dieselov motor brzokretan, pa je postrojenje nešto kraće. Ranije su postojala postrojenja s više Dieselovih motora koji su preko zajedničkog reduktora pogonili jednu propellersku osovinu.

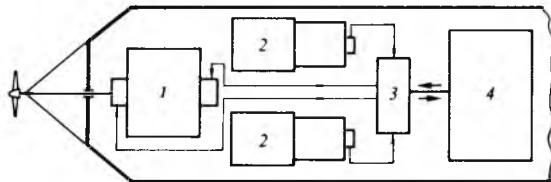


Sl. 32. Shema direktnog dizelsko-elektromotornog pogona s reduktorem brzine vrtnje i s malim elektromotorm za šuljanje. 1 Dieselov motor, 2 spojka Dieselova motora, 3 reduktor, 4 spojka brodskog vijka, 5 odrivni ležaj, 6 brtva propelerne osovine, 7 elektromotorski generator, 8 malji elektromotor za šuljanje, 9 remenica, 10 akumulatorska baterija. Mogući režimi plovidbe: a površinska i šnorkel vožnja neposrednim pogonom pomoći Dieselova motora, b podvodna vožnja s pogonom malog i velikog elektromotora, c punjenje baterija u luci, u površinskoj ili šnorkel vožnji

Karakteristike postrojenja za direktni dizelsko-elektronički pogon jesu: mala težina i volumen pogonskog uređaja jer je električni generator ujedno i elektromotor za podvodnu plovidbu; dug osovinski vod sa dvije ili više izvrstivih spojki;

ako se primjenjuje srednjekretni ili brzokretni Dieselov motor, potreban je reduktor brzine vrtnje; postrojenje je složeno, pa je složenja gradnja, održavanje i upravljanje; kad je Dieselov motor sporokretan, veći je podvodni šum jer se teže prigušuje prijenos niskofrekventnog zvuka kroz strukturu podmornice; slabija manevarska svojstva i neekonomična vožnja pri nižim brzinama vrtnje vijka.

Dizelsko-električni pogon sastoji se od posebnoga glavnoga porivnog elektromotora, generatora tjeranog Dieselovim motorom i akumulatorske baterije (sl. 33). Glavni porivni elektromotor pogoni brodski vijak bez obzira da li podmornica plovi zaronjena ili na površini. Elektromotor se napaja strujom iz akumulatorske baterije ili strujom iz generatora tjeranog Dieselovim motorom. Za vožnju šuljanja podmornica može imati poseban mali elektromotor.



Sl. 33. Dizelsko-električni pogon. 1 porivni elektromotor, 2 generator tjeran Dieselovim motorom, 3 glavna rasklopna ploča, 4 akumulatorska baterija

Karakteristike dizelsko-električnog pogona jesu: postrojenje je jednostavno s kratkim i jednostavnim osovinskim vodom bez izvrstivih spojki i reduktora, pa su gradnja, održavanje i upravljanje postrojenjem jednostavni; mogu se primjeniti brzokretni Dieselovi motori koji su manji i lakši od sporokretnih; postrojenje je žilavije ako se sastoje od više manjih Dieselovih motora koji pogone generatore; strukturni se šum lakše smanjuje jer se frekvencije brzokretnih motora lakše prigušuju; u plovidbi sa snagom manjom od nominalne pogon je ekonomičniji, jer Dieselov motor uvijek radi s nominalnom brzinom vrtnje i približno s nominalnom snagom, a višak snage generatora služi za pogon pomoćnih uređaja ili za punjenje akumulatorske baterije; stupanj je korisnosti električnog prijenosa snage loš i iznosi 80...82%.

Dobra svojstva dizelsko-električne propulzije prevladavaju, pa se direktni dizelsko-elektromotorni pogon danas nalazi još samo na starijim tipovima podmornica i na nekim podmornicama istisnine manje od 100 t.

Komponente dizelsko-električnog postrojenja

Podmornički Dieselov motor. Poslije drugoga svjetskog rata razvio se iz porodice brzokretnih brodskih i lokomotivskih motora posebni podmornički Dieselov motor. Taj je motor kompaktne V-izvedbe, prilagođene sfernem obliku čvrstog trupa podmornice, s dijelovima od lakih metala, što ga čini lakšim, jeftinijim i pogodnijim za ugradnju i održavanje (sl. 34). Težina po jedinici snage motora iznosi 5,5...8 kg/kW, što je glavni

razlog da se prešlo s direktnog dizelsko-elektromotornog pogona podmornica na dizelsko-električni pogon.

Snage današnjih podmorničkih Dieselovih motora iznose 350...1350 kW. Ukupna snaga Dieselovih motora za direktni dizelsko-elektromotorni pogon određuje se prema karakteristikama brodskog vijka projektiranog za najveću brzinu podmornice u površinskoj, odnosno šnorkel vožnji, uključujući i snagu potrebnu za rad pomoćnih uređaja (kompresori, pumpe, ventilatori, rasvjeta). Moderne podmornice s dizelsko-električnim pogonom imaju mnogo veće akumulatorske baterije, pa se snaga Dieselovih motora određuje prema snazi potrebnoj za brzo punjenje baterija, rad pomoćnih uređaja i pogon s manjim brzinama podmornice.

Snaga motora ovisi o stanju okoliša i posebnim uvjetima rada podmorničkog motora koji usisava zrak preko šnorkela, a ispušne plinove tlači u more.

Zbog posebnih uvjeta rada podmornički Dieselov motor mora zadovoljiti nekoliko posebnih tehničkih zahtjeva. Rad motora mora biti siguran pri promjenljivom podtlaku zraka na usisu i pretlaku plinova na ispuhu motora, te pri povećanim uzdužnim i poprečnim nagibima podmornice. Upućivanje motora mora biti pouzdano, naročito kad podmornica prelazi iz podvodne u šnorkel vožnju. Motor mora raditi što tiše da bi prostorna i strukturalna buka bila što manja. Motor mora biti otporan na udare u vertikalnom, poprečnom i uzdužnom smjeru, koji nastaju zbog bliskih eksplozija protupodmorničkih bomba. Ta se otpornost odnosi i na sve privješene uređaje, kontrolnu i sigurnosnu armaturu motora. Konstrukcija motora mora biti kompaktna i prilagođena sfernem obliku čvrstog trupa podmornice. Svi dijelovi motora, koji podliježu čestoj kontroli, održavanju i periodičkim radovima u luci, moraju biti lako pristupačni. Motor mora biti pogodan za automatizirani rad i daljinsko upravljanje, jer to olakšava rad posadi, posredno štedi koristan prostor podmornice i povećava sigurnost pogona.

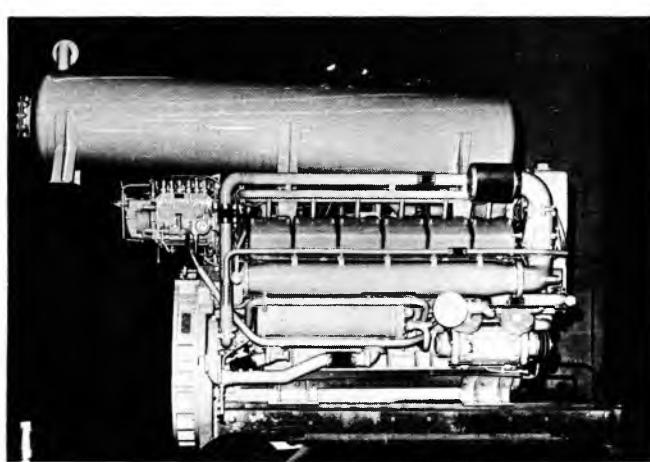
Zbog teških uvjeta rada, motor mora biti kvalitetno izrađen. Posebno se zahtijeva nepropusnost na spojevima ispušnih kanala, cijevima goriva, ulja i vode, uz dobru izolaciju vrućih dijelova. Mora se odvoditi što manje topline ispušnim plinovima, a što više rashladnim uređajem motora, da bi toplinska zračenja u prostor podmornice bila što manja, a radne temperature na sjedištima ventila u ispušnom vodu što niže. To znači da dobava i tlak privješene pumpe za rashladnu morsku vodu moraju biti što veći da bi hlađenje motora i ostale pripadajuće opreme bilo to bolje. Pretičak zraka za izgaranje goriva mora biti što manji da bi dobava zraka i količina ispušnih plinova bile to manje, a time manji promjeri usisne i ispušne cijevi šnorkela.

Šnorkel je uređaj koji omogućuje rad Dieselova motora pri plovidbi podmornice zaronjene na manjoj dubini. Taj se režim plovidbe naziva **šnorkel vožnja**, a dubina na kojoj podmornica plovi **šnorkel dubina**.

Šnorkel se sastoji od dva sistema međusobno odvojenih cijevi (sl. 35). Kroz jednu cijev Dieselov motor usisava atmosferski zrak potreban za pogon, a kroz drugu cijev izbacuje plinove izgaranja. Usisna je cijev izvlačiva ili preklopiva. Na vrhu cijevi smješten je vršni ventil koji se automatski zatvori kad podmornica zaroni ili ako ga prelijevaju valovi. Dok je vršni ventil zatvoren, Dieselov motor nastavlja rad usisavajući zrak iz slobodnog prostora podmornice.

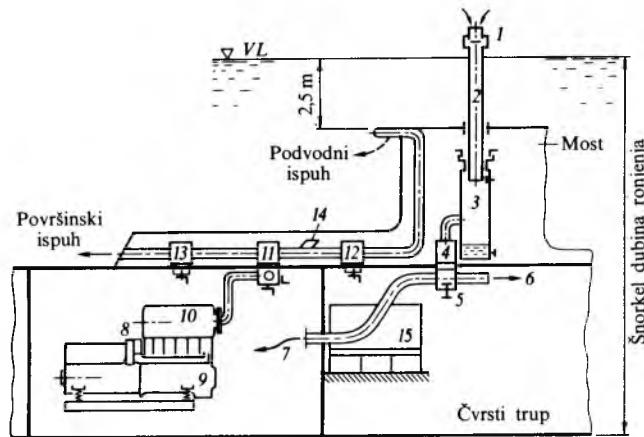
Ispušni plinovi Dieselova motora odvode se izvan čvrstog trupa podmornice preko glavnog ispušnog ventila na površinski ili podvodni ispuh. U šnorkel vožnji, radi smanjenja pretlaka na strani ispuha Dieselova motora, ispušni se plinovi odvode posebnom cijevi do vrha mosta podmornice (podvodni ispuh) ili izvlačivom ispušnom cijevi u atmosferu iznad površine mora.

Šnorkel vožnja je zbog više razloga složenija od površinske i podvodne vožnje. Stalno postoji opasnost da kroz šnorkel prodre voda ako se pokvari automatska ili armatura usisnog, odnosno ispušnog dijela šnorkela. Teži su uvjeti za navigaciju i veća je mogućnost sudara s površinskim brodovima, jer podmornica plovi blizu površine mora. Za vrijeme šnorkel vožnje u podmornici vlada promjenljivi tlak, pogotovo na valovitom moru, pa samo za jednu minutu podtlak može dostići vrijednost



Sl. 34. Podmornički Dieselov motor s prigrađenim ispušnim loncem

PODMORNICA



Sl. 35. Shema šnorkel uređaja. 1 vršni ventil šnorkela, 2 izvlačiva cijev šnorkela, 3 separator zraka i vode, 4 automatski usisni ventil, 5 glavni usisni ventil, 6 cjevovod za ventilaciju podmornice, 7 ulaz zraka u motorni prostor, 8 usisni filter Dieselova motora, 9 generator tjeran Dieselovim motorom, 10 ispušni ionac, 11 glavni ispušni ventil, 12 ispušni ventil šnorkela, 13 površinski ispušni ventil, 14 cjevovod za pirenje glavnog tankova ronjenja ispušnim plinovima Dieselova motora, 15 upravljački pult pogonskog uređaja

od 100–150 mbar, što može uzrokovati povrede uha, dišnih organa ili smetnje u krvotoku. Ako su spojevi na ispušnom vodu slabiji, pri većem pretlaku može se unutrašnji prostor podmornice zagaditi ispušnim plinovima Dieselova motora.

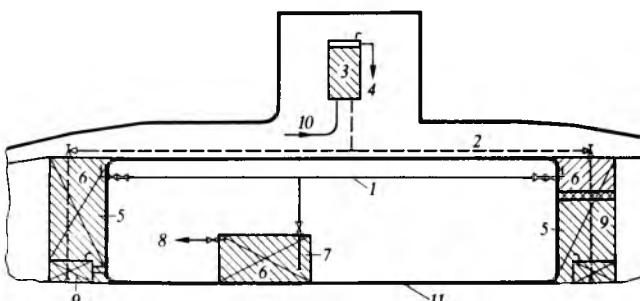
Usprkos opasnostima u šnorkel vožnji, danas je to jedini način da podmornica u zaronjenom stanju puni akumulatorske baterije, ventilira prostor i popunjave utrošeni visokotlačni zrak.

Šnorkel uređaj primjenjuje se i na nuklearnim podmornicama, i to za rad pomoćnih generatora koji su tjerani Dieselovim motorima i za provjetravanje podmornice.

Zbog relativno malog promjera usisne cijevi šnorkela Dieselov motor radi s podtlakom na usisu, a zbog veće duljine ispušnog voda i ispuha ispod razine mora povećan je pretlak na ispuhu. Pri tom, zbog utjecaja valova na podvodni ispuh, rad motora nije stacionaran. Pretlak ispušnih plinova može kratkotrajno dostići tako visoke vrijednosti da se rad Dieselova motora automatski obustavi. Zbog stalnih promjena tlakova povećavaju se temperature ispušnih plinova za 45–50 °C, a smanjuje se korisna snaga motora za 9–13%.

Zbog nestacionarnog režima rada te velikog i promjenljivog pretlaka ispušnih plinova otežana je primjena turbo puhalo (v. Motori s unutrašnjim izgaranjem, TE 9, str. 1), pa se najčešće upotrebljava mehaničko puhalo i time se povećava snaga za ~70%.

Kompenzacija utrošenog goriva. Budući da podmornica može ploviti zaronjena samo uz nepromjenljivu istisninu, to se u šnorkel vožnji mora kompenzirati težina utrošenog dizelskog goriva. Težina utrošenog goriva nadomjesti se tako da se doveđe morska voda u tank goriva (sl. 36). Razlika između gustoće goriva i morske vode dovoljno je velika da se voda ne pomiješa s gorivom, a dovoljno je malena da težina ubaćene vode ne poremeti trim podmornice.



Sl. 36. Shema cjevovodnog sistema goriva i kompenzacije goriva morskom vodom. 1 cjevovod goriva, 2 kompenzaciski cjevovod, 3 kompenzaciski tank, 4 preljev u more, 5 tank goriva u lakom trupu, 6 gorivo, 7 taložni tank goriva, 8 odvod goriva u motor, 9 voda, 10 rashladna voda iz motora, 11 čvrsti trup

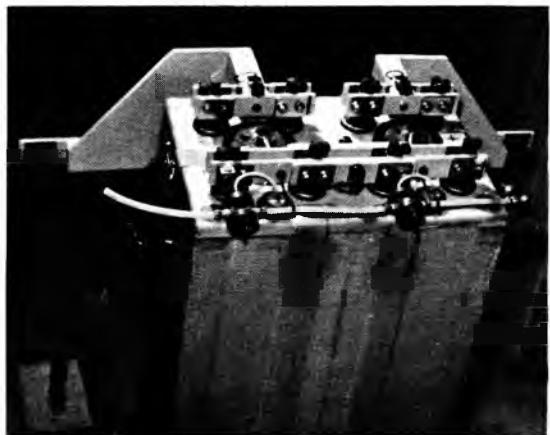
Tankovi dizelskog goriva nalaze se u lakom trupu podmornice i preko kompenzaciskog cjevovoda spojeni su s vanjskom morskom vodom, pa je tlak u tanku goriva uvijek jednak vanjskom hidrostatskom tlaku. Da morska voda ne bi ušla s gorivom u Dieselov motor, gorivo se najprije vodi u taložni tank goriva, gdje se istaloži eventualno pomiješana morska voda, a gorivo se odvodi u motor s vrha taložnog tanka.

A. Korbar

Podmornička akumulatorska baterija. Za vrijeme podvodne vožnje u konvencionalnoj podmornici akumulatorska je baterija jedini izvor energije. U velikim i srednjim podmornicama upotrebljavaju se olovne akumulatorske baterije. U njih se mogu uskladištiti relativno velike količine energije, a iz njih se može crpsti ta energija pri različitim pražnjenjima uz podjednak stupanj djelovanja. Akumulatorske se baterije mogu ponovo puniti u kratkom vremenu. U sasvim malim podvodnim plovilima upotrebljavaju se i alkalične akumulatorske baterije i gorivi članici (v. Akumulator, TE 1, str. 48).

Podmornička olovna akumulatorska baterija sastoji se od 62, 96, 112, 120, 126 ili 144 članka, a masa jednog članka je 200–800 kg. U podmornicu se ugrađuje jedna do četiri takve baterije, i na njih otpada 12–25% ukupne težine podmornice.

Mehanička izvedba. Skup ploča jednog akumulatorskog članka, zajedno sa separatorima i elektrolitom, zatvoren je u gumenoj vreći i obješen na poliesterski poklopac. Takav je članak otporan na mehaničke udare i može se nagibati do 45°. Po nekoliko članaka smješteno je u poliestersku posudu, a cijela baterija je u posebnoj, tzv. akumulatorskoj jami. Na poklopcu su izvodi polova, otvori za odušne plinove, pokazivač razine elektrolita, priključci za daljinsko mjerjenje napona, temperature i razine elektrolita, te priključci za vodeno hlađenje i miješanje elektrolita (sl. 37).



Sl. 37. Podmornički akumulatorski članak sa spojkama i ostalom opremom. Članak je dvostruk, kapaciteta 4000 Ah uz 5-satno pražnjenje

U odušniku članka nalazi se keramički protupožarni filter i ventil koji sprečava prolaz vode u članak.

Izvodi su polova i mostovi na koje su obješene ploče šuplji, pa kroz njih protjeće čista voda za hlađenje.

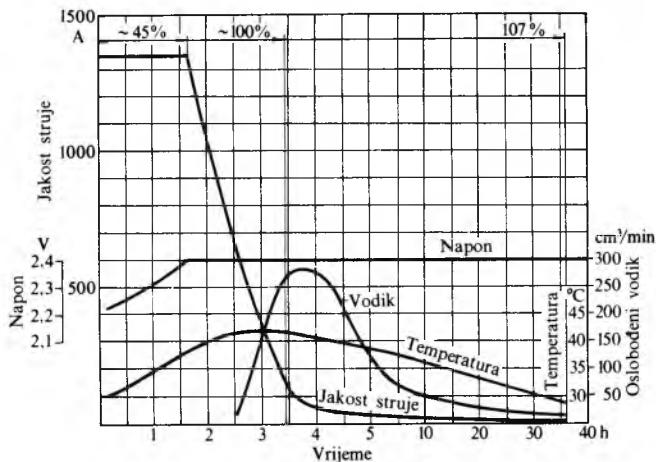
Pri konstrukciji podmorničkih akumulatora olovko ne sudjeluje aktivno u akumuliranju električne energije zamjenjuje se drugim materijalima, npr. bakrom. U podmornicama velikih promjera čvrstog trupa potrebni su što viši članci, ali se povećanjem visine povećava i unutrašnji otpor članka. Zato su konstruirani dvoetažni članci u kojima su ploče gotovo kvadratičnog oblika.

Električne karakteristike. Napon je napunjene članka 2,1 V, pri punjenju naraste na 2,4 V, a uz plinjenje i na 2,8 V. Pri pražnjenju napon članka smije pasti na 1,4–1,8 V. Najveći članci za podmorničke baterije imaju kapacitet 12000 Ah pri malim, a 6000 Ah pri velikim strujama pražnjenja.

Članci baterije međusobno su spojeni serijski, a baterije se međusobno mogu spajati serijski ili paralelno. Najkraće vrijeme

pražnjenja, tzv. kratki način rada, iznosi $0,5\cdots 5$ sati, a dugi način rada traje $10\cdots 100$ sati.

Akumulator se u podmornici puni ili iz istosmjernoga generatora ili iz izmjeničnoga trofaznog generatora s ispravljačem. Punjenje je automatizirano i upravljano elektroničkim računalom. Akumulator se najčešće puni tzv. postupkom IU. Puni se najjačom mogućom strujom, pa kad se postigne napon pljenja ($2,4$ V uz temperaturu 30°C), napon se održava konstantan, a struja se postupno smanjuje (sl. 38). Za vrijeme punjenja iz elektrolija se osloboda vodik, to je tzv. *pljenje*. Do napona $2,4$ V pri temperaturi 30°C ono je maleno, no s povišenjem napona naglo raste. Pljenje se pojavljuje i pri pražnjenju, pa i pri samopražnjenju akumulatora. Tako se npr. iz članka kapaciteta 4000 Ah na temperaturi 30°C oslobada pri pražnjenju u radnim uvjetima $\sim 1 \text{ cm}^3$ vodika po Ah, a pri samopražnjenju $\sim 150 \text{ cm}^3/\text{h}$. Smjesa je vodika i zraka sa sadržajem vodika većim od $4,5\%$ zapaljiva, a sa sadržajem većim od 9% eksplozivna. Zato se vodik odvodi ventilacijom u atmosferu, a u prostoru gdje se nalaze akumulatori smješteni su i indikatori vodika koji upravljaju ventilacijom i po potrebi signaliziraju uzbunu.



Sl. 38. Karakteristike punjenja akumulatorske baterije kapaciteta 4000 Ah uz 5-satno pražnjenje. Prikazano je punjenje baterije nakon 3-satnog pražnjenja

U visokim člancima elektrolit se stalno miješa pomoću zračnih sisaljki. Time se ujednačuje elektrolit, smanjuje vrijeme punjenja i povećava trajnost akumulatora.

Na nižim je temperaturama trajnost akumulatora veća, a gornja granična temperatura upotrebe olovnog akumulatora iznosi 52°C . Podmorničke akumulatorske baterije mogu izdržati 1000 punjenja i pražnjenja, ili ~ 5 godina eksploracije.

Porivni elektromotor podmornice. Porivni elektromotor je najčešće dvokotveni istosmjerni. Obje kotele nalaze se u zajedničkom kućištu s prisilnom ventilacijom. Izolacija je klase F, a često i H. Snaga porivnih elektromotora sve više raste, jer se zahtijevaju sve veće brzine podmornice, a brzine vrtnje opadaju da se smanji šumnost (200 min^{-1} za nominalnu snagu), pa su elektromotori sve veći i teži ($50\cdots 60$ t). U eksploraciji se već nalaze vodom hlađeni istosmjerni elektromotori, a razmatra se primjena supravodljivih unipolarnih elektromotora. Poluvodička tehnika omogućuje da se primijene i izmjenični električni strojevi.

Pogonska postrojenja bez reduktora brzine vrtnje propelerne osovine više nemaju poseban elektromotor s malom brzinom vrtnje za bešumnu vožnju podmornice (elektromotor za šuljanje), već se preko statičkog pretvarača naponski regulira brzina vrtnje glavnoga porivnog elektromotora sve do nekoliko okretaja u minuti. Statičkim pretvaračem napaja se i krug uzbude, pa se, bez obzira na promjene baterijskog napona zbog pražnjenja ili promjene električnog otpora namotaja stroja zbog zagrijavanja, vrlo točno održava potrebna brzina vrtnje, a time i brzina podmornice.

Razvod električne energije. Rasklopni uređaji glavnih strujnih krugova moraju zadovoljavati stroge zahtjeve jer na njih djeluju visoki istosmjerni naponi (viši od 1000 V), jake struje prekidanja

(6000 A) i vrlo velike struje kratkog spoja (do 100 kA). Prekidači su u pogonu vrlo pouzdani, ali su veliki, bučni i mehanički složeni. Istražuju se tiristorski prekidači s prekidnom moći struje kratkog spoja i iznad 100 kA.

Posebno su mehanički složene manevarske sklopke za prespajanje akumulatorskih baterija i kotvi porivnog elektromotora u međusobno paralelni ili serijski spoj radi stepenaste naponske regulacije brzine vrtnje porivnog elektromotora i za njegovo upućivanje. To su višepolne i višepoložajne grebenaste sklopke, a svaki pol je dimenzioniran za nominalnu baterijsku ili motornu struju. Polovi su postavljeni u nizu na zajedničkoj osovini s električnim i rezervnim mehaničkim pogonom.

Sklopke imaju daljinsko upravljanje pomoću releja ili poluvodičkih elemenata. Obično se razlikuju biračka sklopka, sklopka smjera i pokretač porivnog elektromotora.

Podmornice su opremljene poluvodičkim (statičkim) pretvaračima zato što akumulatorska baterija daje istosmjerni napon promjenljive vrijednosti u širokom rasponu. Pomoću pretvarača dobiva se istosmjerni stabilizirani napon željene vrijednosti ili izmjenični napon različitih frekvencijsa.

Na podmornicama su statički (poluvodički) pretvarači potpuno istisnuli rotacijske pretvarače, jer su jeftiniji, zahtijevaju manje održavanja i popravaka. Imaju bolji stupanj djelovanja i manje su bučni. U statičkim se pretvaračima galvanski odvaja pomoću transformatora ulazni od izlaznog dijela. Tako se potrošači štite od visokih baterijskih napona i struja kratkog spoja, a baterije od zemnih spojeva preko široke mreže potrošača. Podmorničke su mreže ograničene po veličini, pa nastaju elektromagnetske smetnje zbog pulsiranja velikih energija u statičkim pretvaračima.

Na podmornici je opća rasvjeta fluorescentna. Svaka rasvjetna armatura ima tranzistorski pretvarač priključen neposredno na podmorničku akumulatorsku bateriju. Pretvarač napaja cijevi naponom 220 V, frekvencije 20 kHz, jer je pri toj frekvenciji bolje svjetlosno iskoristenje i manje su smetnje zbog titranja.

Radna su mjesta rasvijetljena žaruljama sa žarnom niti, napajanim najčešće nižim naponima (24 ili 50 V) iz brodske mreže stabiliziranog izmjeničnog napona. Za grupu svjetiljki napon se transformira pomoću transformatora od $200\cdots 500$ W. Žarulje nižih napona imaju debele žarne niti koje su vrlo otporne na udare. Gubici zbog transformacije na niski napon nadoknade se boljim svjetlosnim iskoristenjem žarulja niskih napona, a važno je i da su niski naponi bezopasni za čovjeka.

Kao rezervna služi fluorescentna rasvjeta, jer se svaka pojedina armatura napaja neposredno iz akumulatorske baterije. Grupa rasvjetnih armatura sa žaruljama napaja se ako je potrebno iz rezervnih statičkih pretvarača, a kad je nužda, upotrebljavaju se prijenosne akumulatorske baterije koje se stalno punе.

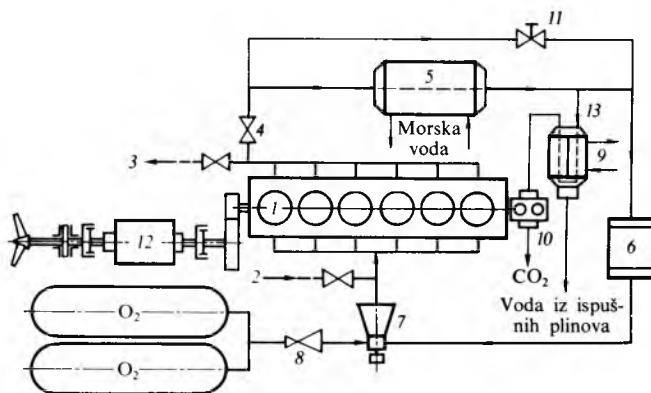
Rasvjeta je akumulatorskih jama protuksplozjska, vanjske su rasvjetne armature tlačne, a sve su ostale armature vodo-nepropusne izvedbe.

M. Žvanović

Specijalna pogonska postrojenja

Pogon Dieselovim motorom s kružnim tokom. Podmornički pogonski sistem pomoću Dieselova motora s kružnim tokom ispušnih plinova ne ovisi o atmosferskom zraku, jer motor usisava vlastite ohladene i kisikom obogaćene ispušne plinove (sl. 39). Kisik potreban za rad Dieselova motora bez atmosferskog zraka drži se u spremnicima u plinovitom ili tekućem stanju, odnosno dobiva se oslobađanjem iz peroksida.

Prva ispitivanja Dieselova motora s kružnim tokom obavljena su još 1907. godine u hamburškom brodogradilištu Germania Werft, ali bez većih uspjeha. Za vrijeme drugoga svjetskog rata njemačka je ratna mornarica mnogo radila na razvoju takva motora, a poslije rata istraživanja su nastavljena u SAD, Švedskoj, Francuskoj, Velikoj Britaniji i SSSR. Nakon što je uveden nuklearni pogon podmornica i razvijena sredstva za otkrivanje podvodnog šuma odustalo se od pogona borbenih podmornica pomoću Dieselovih motora s kružnim tokom.

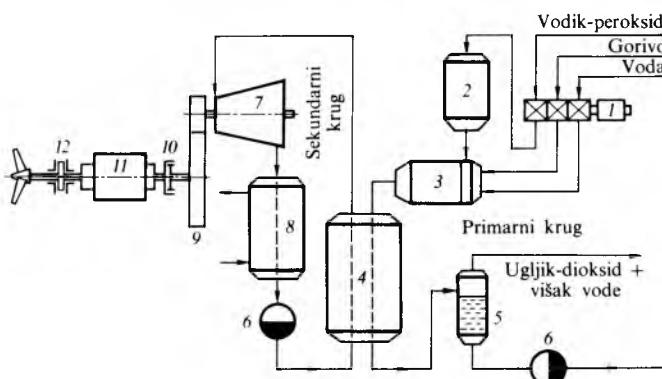


Sl. 39. Shema pogona Dieselovim motorom s kružnim tokom ispušnih plinova. 1 Dieselov motor, 2 usis iz atmosfere, 3 ispuh u atmosferu, 4 ventil kružnog toka ispuha, 5 hladičnik ispušnih plinova, 6 filter ispušnih plinova, 7 miješalica kisika i ispušnih plinova, 8 reducirski ventil, 9 kondenzator-rashladnik ispušnih plinova, 10 kompresor suhih plinova, 11 regulator temperature plinova, 12 elektromotor-generator, 13 odvod viška ispušnih plinova

Danas se Dieselov motor s kružnim tokom upotrebljava u različitim podvodnim energetskim stanicama i na manjim podmornicama. Očekuje se da će s najnovijim razvojem Stirlingova motora, koji radi tihom i s vanjskim dovodom topline, pogonsko postrojenje s kružnim tokom naći veću primjenu na podmornicama.

Turbinski pogon. Toplina plinova izgaranja goriva i vodik-peroksida, bez prisutnosti zraka, može se u turbinskom postrojenju transformirati u pogonsku snagu. Postoji više varijanti takvih postrojenja, kao npr. *Alton*, *Wolverine*, *Walter* i druga.

Prvi je H. G. Walter još potkraj tridesetih godina u Njemačkoj radio na primjeni plinske turbine za pogon podmornice, pa se takvo postrojenje naziva *Walterov pogon* (sl. 40). Postrojenje se sastoji od plinske ili parne turbine (*Walterova turbina*) s kondenzatorom pare, komore za izgaranje, uređaja za dovod goriva i za razlaganje vodik-peroksida.



Sl. 40. Shema Walterova pogona. 1 pumpa vodik-peroksida, goriva i vode, 2 komora za razlaganje vodik-peroksida, 3 komora za izgaranje, 4 generator pare, 5 separator ugljik-dioksid-a i vode, 6 pumpa za vodu, 7 turbina, 8 kondenzator, 9 reduktor, 10 spojka, 11 porivni elektromotor, 12 odrivni ležaj

U prvim varijantama postrojenja upotrebljavao se vodik-peroksid kao jedino gorivo. Vodik-peroksid proizvodi se u različitim koncentracijama, a kao oksidans ili gorivo najbolja ima svojstva kad je potpuno koncentriran. Za tehničku upotrebu na podmornicama upotrebljavala se koncentracija od 85...90%.

Razlaganjem vodik-peroksida oslobađa se toplina i nastaje smjesa vodene pare i kisika, koja ima temperaturu 510...750 °C, uz povećanje volumena za ~5000 puta. Takva se smjesa može upotrijebiti kao radni medij u tzv. *hladnom postupku*. Na tom su principu pogonjeni raketa V-1, pumpa za goriva raket V-2, različiti projektili, torpeda i motori koji rade samo nekoliko minuta. Za višesatni pogon borbene podmornice takav hladni postupak ne dolazi u obzir jer je neekonomičan i jer oslobođeni kisik ostavlja u vodi trag, pa se primjenjuje tzv. *vrući postupak* gdje oslobođeni kisik služi za izgaranje goriva. Izgaranjem go-

riva u komori se razvija visoka temperatura i visoki tlak. Da se održe normalni pogonski uvjeti, u komoru se ubrizgava voda te se za turbinu dobiva radni medij temperature 550 °C i tlaka 30 bara. Smjesa plinova izgaranja i vodene pare ekspandira u turbinu do protutlaka jednakog hidrostatskom tlaku na dubini ronjenja podmornice, pa se snaga turbine smanjuje s porastom dubine ronjenja. Pad snage na dubini od 100 m iznosi ~30%, pa je u novijim postrojenjima proces podijeljen na dva odijeljena kruga (sl. 40). U prvom se krugu smjesa plinova i pare vodi u generator pare. U drugom krugu para proizvedena u generatoru pare odlazi u turbinu i nakon ekspanzije odvodi se u kondenzator, te se kao kondenzat vraća u generator pare. Tako rad turbine ne ovisi o dubini ronjenja, nego o podtlaku u kondenzatoru.

Trajanje pogona ograničeno je zalihami vodik-peroksida koji je uskladišten u plastičnim vrećama smještenim u tankovima izvan čvrstog trupa podmornice. Omjer utroška goriva i vodik-peroksida iznosi 1 : 9, odnosno specifični je utrošak vodik-peroksida ~2 kg/kWh. Veliki utrošak skupog vodik-peroksida jedan je od glavnih razloga što turbineski pogon podmornica nema širu primjenu.

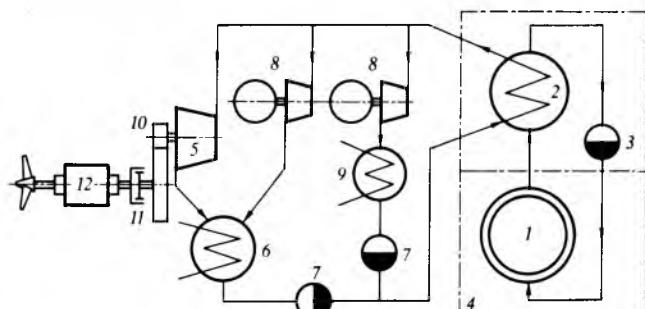
Walterov pogon primijenjen je prvi put 1939. godine na eksperimentalnoj podmornici od 80 t istinsne, a postignuta je podvodna brzina od ~28 čvorova, što je potaklo gradnju 9 podmornica površinske istinsne od 314 t, poznatih kao tip XVIIc. Postrojenje je imalo dvije turbine snage od po 1840 kW, a postignuta je podvodna brzina od 25 čvorova u trajanju od ~5 sati. Zalihe vodik-peroksida iznosile su 55 000 kg. Te su podmornice služile za obuku posada, jer se previdjala gradnja borbenih podmornica od 900 t istinsne, poznatih kao tip XVIc, s turbinom od 5 500 kW i podvodnom brzinom od ~24 čvora, ali je rat završio prije nego što su te podmornice dovršene.

Pošto drugoga svjetskog rata u više se zemalja radilo na razvoju turbineskog postrojenja na osnovi vodik-peroksida. Za pogon borbenih podmornica takvo je postrojenje primjenila samo Velika Britanija na podmornicama *Explorer* i *Excalibur* istinsne 780/1000 t i podvodne brzine više od 25 čvorova. Osim postrojenja s Walterovom turbinom, te su podmornice imale i dizelsko-elektromotorni pogon za površinsku i podvodnu vožnju s manjim brzinama, ali s većom daljinom plovjenja.

POGONSKO POSTROJENJE NUKLEARNE PODMORNICE

U nuklearnom se pogonskom postrojenju iskoristava energija oslobođena fisijom atomske jezgre nuklearnog goriva (v. *Fisija atomskog jezgra*, TE 5, str. 445) pomoću lančane reakcije u nuklearnom reaktoru (v. *Nuklearni reaktori*, TE 9, str. 464).

Nuklearno postrojenje na podmornici (sl. 41) sastoji se od reaktora s bioškim štitom, uređaja za hlađenje jezgre, primarnog kruga hlađenja, generatora pare, turbine visokog i niskog tlaka s kondenzatorom i reduktorem brzine vrtnje, te različitih uređaja za regulaciju procesa i za upravljanje. Osnovne komponente reaktora jesu: nuklearno gorivo, moderator, rashladni medij, reflektor neutrona, zaštita i regulacijski uređaji. Nuklearno se gorivo nalazi u cijevima obloženim zaštitnim plastičem koji ne dozvoljava eroziju materijala, dodir s rashladnim medijem i nečistoćama. Cijevi s gorivom smještene su unutar moderatora i zajedno čine jezgru reaktora koja je obavijena reflektorom neutrona. Toplina oslobođena fisijom jezgre atoma odvodi se pomoću rashladnog medija primarnog kruga. S vanjske strane reaktora nalazi se tzv. bioški štit kojemu težina iznosi ~30% težine nuklearnog postrojenja. Težina i za-



Sl. 41. Shema nuklearnog pogonskog postrojenja podmornice. 1 nuklearni reaktor, 2 generator pare, 3 cirkulacijska pumpa, 4 bioški štit, 5 glavna turbina, 6 kondenzator, 7 pumpa, 8 generator tjeran turbinom, 9 pomoći kondenzator, 10 reduktor, 11 spojka, 12 elektromotor

premina biološkog štita malo ovise o snazi postrojenja i predstavljaju osnovni problem u primjeni nuklearne propulzije na manjim podmornicama.

Do sada postoji nekoliko tipova nuklearnih reaktora. U nuklearnom postrojenju podmornice najviše se upotrebljava reaktor hlađen vodom pod tlakom (*Pressurized Water Reactor, PWR*). Rashladni je medij, a ujedno i moderator *PWR* reaktora destilirana voda pod visokim tlakom. Jezgra *PWR* reaktora cilindričnog je oblike s kanalima za hlađenje kroz koje struji voda. Zbog velikih tlakova posuda reaktora ima vrlo debele stijenke, a oko posude je postavljena primarna zaštita od zračenja. Primarni je krug hlađenja jezgre reaktora višestruk radi sigurnosti pogona. Voda ulazi u reaktor s temperaturom od 265°C , a izlazi sa 285°C pri tlaku 120–160 bara.

Sekundarni krug čini standardno turbinsko postrojenje sa suhozasićenom parom ulazne temperature 213°C i tlaka 17,6 bara. Stupanj toplinskog iskorištenja nuklearnog pogona iznosi 18–20%, tj. nešto manje nego turbinskog pogona s parnim kotlom.

Prva podmornica s nuklearnim pogonom bila je američka podmornica *Nautilus* površinske istisnine 3180 t, koja je zaplovila 17. I 1955. godine. Električna snaga postrojenja iznosila je $\sim 11\,000$ kW, a u zaronjenom stanju podmornica je postigla brzinu od ~ 25 čvorova. S prvim nuklearnim punjenjem podmornica je prevelala daljinu od $\sim 62\,000$ nautičkih milja uz utrošak 3,62 kg nuklearnog goriva, koje je stajalo $\sim 40\,000$ 000 dollara. Podmornica s dizelsko-električnim pogonom trebala bi za istu duljinu plovideći $\sim 10\,000$ t dizelskog goriva, ali bi cijena toga goriva bila mnogo manja. *Nautilus* je imao kao rezervni pogon dizelsko-električno postrojenje sa šnorkelom.

Kroz 25 godina primjene nuklearni se pogon pokazao potpuno pouzdanim u radu. Prema podacima iz 1982. godine broj nuklearnih podmornica u flotama velikih sila iznosio je: SSSR 148, SAD 112, Velika Britanija 13, Francuska 4. Dosad su potonule američke podmornice *Tresher* (1963. godine sa 126 članova posade) i *Scorpion* (1968. godine sa 99 članova posade), te sovjetska nuklearna podmornica klase *November* (1970. godine). Uzroci tih nesreća nisu objavljeni.

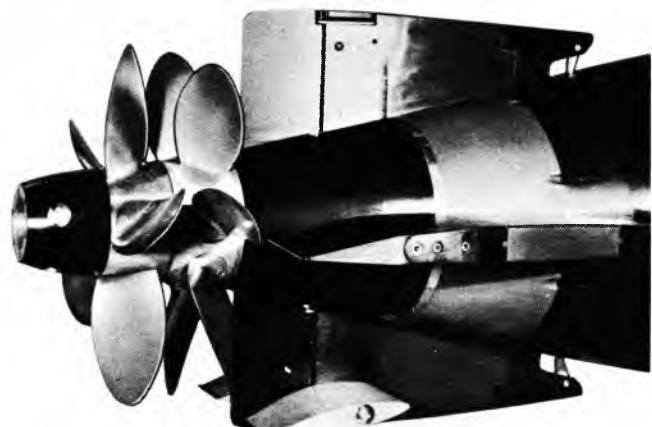
A. Korbar

NAORUŽANJE PODMORNICE

Naoružanje podmornice može da bude torpedno, artiljerijsko, raketno i minsko. Sva oružja podmornice vrlo su složena, a njihov smještaj i primjena na podmornici postavljaju mnogo dodatnih i složenih zahtjeva koji se dijelom ispunjavaju konstrukcijom oružja, a dijelom konstrukcijom podmornice.

Torpedno naoružanje. Torpedo je podvodni projektil što ga pokreće par koaksijalnih kontrarotirajućih vijaka, a upravlja se po smjeru i dubini pomoću smjernih i dubinskih kormила (sl. 42). Kontrarotirajući vijci nalaze se na kraju repa torpeda,

iza smjernih i dubinskih kormila (sl. 43). Snažno eksplozivno punjenje nalazi se u glavi torpeda (v. *Oružje*).



Sl. 43. Krmeni dio (rep) torpeda s kontrarotirajućim vijcima i smjernim i dubinskim kormilima

Prva su torpeda bila namijenjena samo za gađanje ciljeva na površini, pa je radi lansiranja torpeda podmornica morala izroniti. Tek je kasnije uvedeno lansiranje iz zaronjene podmornice pomoću *torpednih aparata* (sl. 44) smještenih prvobitno izvan čvrstog trupa, a danas su redovito unutar čvrstog trupa podmornice. Torpedni aparati su vrlo složeni uređaji jer je podvodno lansiranje zbog više razloga opasno i za podmornicu. Prilikom lansiranja torpeda kratkotrajno se otvara čvrsti trup da bi se torpedo lansirao, podmornica naglo gubi težinu na dugom kraku uždužnog stabiliteta, ispuštaju se mjehuri zraka i time otkriva poziciju podmornice itd. Ukravljivanje i manipulacija rezervnim torpedima i priprema torpeda za lansiranje zahtijevaju brojne složene mehanizme na podmornici (sl. 45).

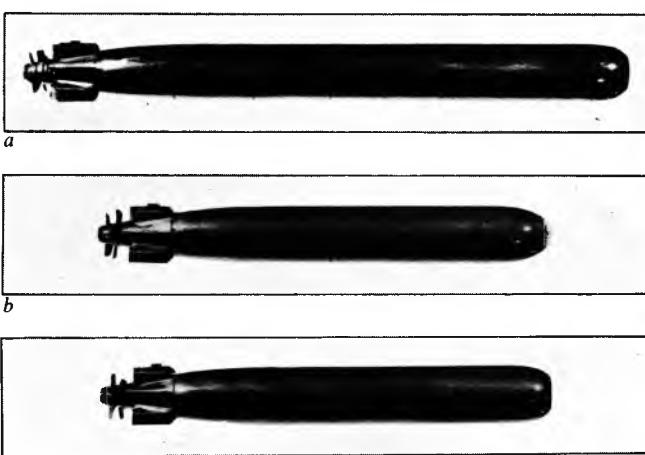
Tokom razvoja torpeda najprije se nastojala povećati njegova brzina i domet primjenom pogodnijih izvora pogonske energije (komprimirani zrak, električna akumulatorska baterija, koncentrirano kemijsko gorivo itd.), uz istodobno poboljšanje



Sl. 44. Podmornički torpedni aparat



Sl. 45. Ukravljavanje torpeda u podmornicu



Sl. 42. Vrste podmorničkih torpeda. a) torpedo s pasivnim samonavodenjem: duljina 5,9 m, promjer 533 mm, ukupna masa 1350 kg, masa eksplozivnog punjenja 300 kg, brzina 25 čvorova, b) torpedo s aktivnim samonavodenjem: duljina 4,3 m, promjer 533 mm, ukupna masa 910 kg, masa eksplozivnog punjenja 200 kg, brzina 25 čvorova, c) torpedo s pasivnim samonavodenjem: duljina 4,3 m, promjer 533 mm, ukupna masa 900 kg, masa eksplozivnog punjenja 200 kg, brzina 25 čvorova

vođenja torpeda na putanji od mjesta lansiranja do cilja. Već je na Whiteheadovim torpedama, građenima u Rijeci početkom našeg stoljeća, bilo riješeno održavanje pravolinjske putanje pomoću smjernog ravnaka sa zvirkom. Kasnije su uvedena programirana skretanja po smjeru ili po dubini, i to, ili odmah nakon što je torpedo lansiran, ili za vrijeme kretanja torpeda na putanji. Usavršen je i upaljač torpeda, pa je osim udarnog upaljača razvijen i blizinski upaljač koji djeluje u blizini cilja, pobuđen npr. bukom ili magnetskim poljem cilja.

Radi veće vjerojatnosti pogotka, razvijena su tzv. *vođena torpeda* koja su električnim vodičem povezana s podmornicom na cijeloj duljini putanje, pa se preko vodiča upravlja torpedom po smjeru i po dubini sve do cilja. Konačno, vođenje torpeda zamijenjeno je *samonavodenjem* na cilj pomoću glave za samonavodenje (sl. 46), koja održava kontakt s ciljem na završnom dijelu putanje. Samonavodenje može biti *pasivno* ili *aktivno*. Glave za pasivno samonavodenje održavaju kontakt s ciljem pomoću zvuka i šumova što ih emitira cilj, npr. prema buci brodskih strojeva ili brodskog vijka. Glava torpeda s aktivnim samonavodenjem sadrži aktivni sonar koji odašilje prema cilju impulse ultrazvuka, pa se torpedo usmjeruje prema signalima reflektiranim od cilja. U oba slučaja elektroničko računalo u torpedu obrađuje podatke o cilju i određuje elemente upravljanja potrebne da torpedo pogodi cilj.



Sl. 46. Glava za samonavodenje torpeda. a plašt glave s kapom od materijala koji propušta zvuk, b elektronički sklopovi sonara u glavi torpeda

Iako je jedno vrijeme vladalo uvjerenje da će zbog malog dometa i male brzine torpedo biti zamijenjen raketama, ipak za napadne i taktičke podmornice usavršeni i brži torpedi i dalje ostaje osnovno oružje za borbu protiv podmornica i površinskih brodova.

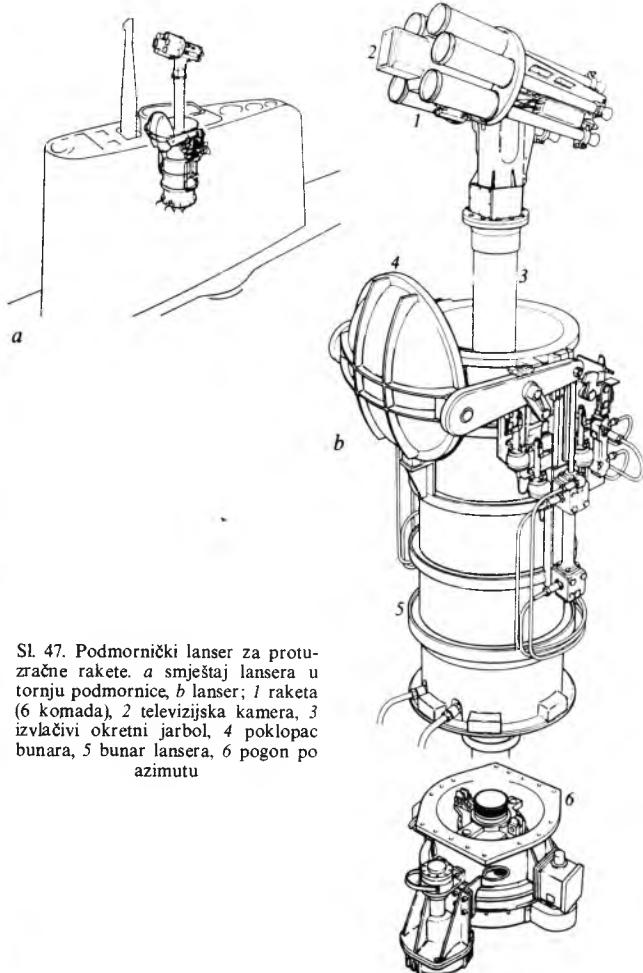
Artillerijsko naoružanje. Prije su podmornice bile naoružane topovima manjih i većih kalibara smještenima na palubi. Topovi su služili za uništavanje nadvodnih ciljeva i za obranu od aviona. Današnje podmornice više nemaju artillerijsko naoružanje.

Raketno naoružanje. Raketa je aerodinamički projektil velike brzine, ali je vrlo nepogodna, čak i za najkraći put kroz vodu. Zato se raketa podvodno lansira iz torpednog aparata pomoću torpeda-nosača. Nakon lansiranja raka je nošena najkraćim putem do površine mora gdje napušta torpedo-nosač i kroz zrak produžava let do cilja. Ako je cilj pod vodom, raka u zoni cilja otpušta podvodni projektil, koji može da bude mali torpedo ili dubinska bomba s blizinskim upaljačem.

Za podvodno lansiranje raka manje podmornice upotrebljavaju normalne ili modificirane torpedne aparate. Posebni lansirni aparati za rake, smješteni izvan čvrstog trupa, primjenjuju se na podmornicama koje nisu bile građene za raketno naoružanje.

Srednje i velike podmornice opremljene su i raketama malog i srednjeg dometa za uništavanje ciljeva u zraku, posebno helikoptera. Te se rake lansiraju s periskopske dubine tako da se iznad površine vode isturi pokretljivi lanser na posebnom jarbolu na kojemu su smješteni i uređaji za ništanje (sl. 47).

Strategijska namjena velikih podmornica potječe u prvom redu iz njihova raketnog naoružanja kojim mogu gađati veoma daleke, uglavnom stacionarne ciljeve na kopnu. Iz zaronjene podmornice rake se lansiraju vertikalno pomoću lansera u silosima ili posebno konstruiranim bunarima s poklopacima na palubi. Zbog veličine uređaja za lansiranje strateške rake mogu



Sl. 47. Podmornički lanser za protučrne rake. a smještaj lansera u tornju podmornice, b lanser; 1 raka (6 komada), 2 televizijska kamera, 3 izvlačivi okretni jarbol, 4 poklopac bunara, 5 bunar lansera, 6 pogon po azimutu

nositi samo najveće podmornice koje na glavnom rebru imaju promjer čvrstog trupa veći od 12 m. Takve podmornice djeluju iz udaljenih područja, pa zato moraju imati velik, gotovo neograničen akcijski radijus, što jedino omogućuje nuklearni pogonski uredaj.

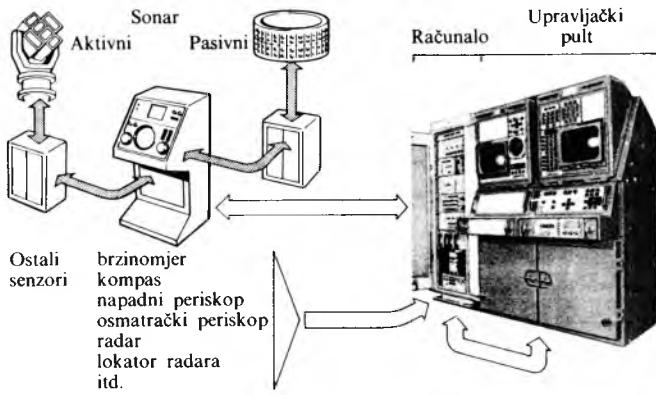
Minsko naoružanje. Skoro sve podmornice mogu nositi i poglati mine. Mine su smještene ili u kolijevkama izvan čvrstog trupa ili u torpednim aparativima umjesto torpeda.

Sistem za upravljanje vatrom

Kad se podmornica nalazi u aktivnom kontaktu s ciljem, uredaj za upravljanje vatrom upravlja djelovanjem svih oružja. Uredaj za upravljanje vatrom sadrži više međusobno povezanih cjelina: ulazni podsistem, računalski dio, izlazni podsistem i podsistem za komunikaciju s posadom (sl. 48).

Preko ulaznog podsistema uredaj za upravljanje vatrom preuzima iz osmatračkog dijela općeg informacijskog sistema podmornice podatke o poziciji, stanju i gibanju podmornice, podatke o spremnosti oružja i podatke o varijanti gađanja. Preko komunikacijskog podsistema poslužiocu oružja dobivaju od uredaja za upravljanje vatrom moguće varijante vatrenog udara. Poslužiocu mogu dodatno uvesti detaljne podatke o gađanju i specificirati najpodesniji način djelovanja oružja.

Računalski dio uredaja za upravljanje vatrom stalno proračunava kinematicke, dinamičke i taktičke elemente gađanja, tako da je uredaj u svakom trenutku spreman da upravlja gađanjem. Međutim, čak i uz najviši stupanj automatizacije, konačni čin lansiranja ili ispaljivanja oružja nikad nije automatski, nego se o tome uvijek donosi posebna odluka i izdaje komanda.



Sl. 48. Sistem za upravljanje vatrom

Izlazni podsistem je stalno povezan s oružjem i prenosi kočano obrađene podatke na oružje.

Na starijim je podmornicama svakom oružju pripadao zasebni uredaj za upravljanje vatrom, uglavnom analognog tipa, konstruiran samo za određenu vrstu oružja. Uvođenjem elektroničkih digitalnih računala uredaj za upravljanje vatrom postao je jedinstven za sva oružja. Što više, on služi kao centralno računalo i za obradbu informacija potrebnih podmornici izvan sistema naoružanja, najčešće za pasivno hidroakustičko osmatranje. Tek su procesna računala omogućila upravljanje vatrom i gađanje ciljeva koji su daleko izvan dometa bilo kojeg od postojećih senzora u sistemu za osmatranje na podmornici. Uvijek kad je domet oružja mnogo veći od dometa senzora, podmornica gađa posredno prema podacima što ih prima od nekog drugog sistema osmatranja. Tako primljeni podaci ne mogu se izravno primijeniti za gađanje, nego ih je potrebno podvrgnuti složenoj obradbi, što je moguće jedino pomoći digitalnog elektroničkog računala.

Skrivenost podmornice

Za vojnu podmornicu veoma je važno da je protivnik ne primijeti. Nekada je bilo dovoljno da podmornica zaroni pa da bude skrivena, ali danas već postoje brojna tehnička sredstva za otkrivanje zaronjene podmornice. Zato je skrivenost

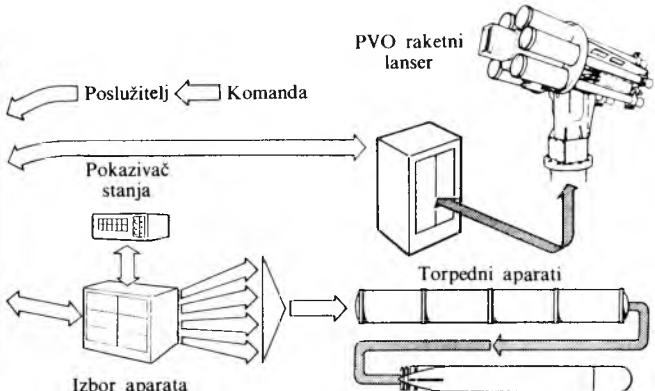
podmornice složen taktički parametar koji pokazuje dokle podmornica otkriva prisutnost svojim oblikom, bojom, konstrukcijom, aktivnostima i podvodnom vožnjom.

Zadatak je podjednako projektanata, graditelja i posade podmornice da povećaju njenu skrivenost. Poznavanjem pojava s kojima podmornica narušava svoju skrivenost može se pogodnim projektiranjem, gradnjom i eksploatacijom podmornice povećati skrivenost.

Konstrukcijska skrivenost skup je parametara na koje se može utjecati jedino projektom i izvedbom podmornice. Na gotovoj podmornici posada ne može utjecati na elemente konstrukcijske skrivenosti.

Vizuelna komponenta konstrukcijske skrivenosti povećava se prikladnom bojom trupa i konstrukcijskim rješenjima koja omogućuju da zaronjena podmornica ostavlja što manje vidljiv trag propeleru, zračnih mjehurića, ulja, otpadaka itd.

Najvažnija je *akustička komponenta* konstrukcijske skrivenosti. O obliku trupa podmornice ovisi površina refleksije izložena protivničkom aktivnom sonaru. Nepovoljan oblik trupa podmornice uzrokuje vrtloženje vode uzduž trupa i oko izdanka na trupu, što stvara šum forme (šum forme) koji se mogu otkriti pasivnim sonarom. Za otkrivanje pasivnim sonarom ipak je mnogo važniji tzv. *daleki šum* koji se sastoji od hidrodinamičkog i struktturnog šuma podmornice. Osim šuma forme, hidrodinamički šum potječe od zujanja i kavitacijskog šuma brodskog vijka, što se može smanjiti ispravnim projektom vijka i krmenog dijela trupa. Strukturalni šum potječe od rada strojeva i mehanizama u podmornici, pa se može smanjiti izborom strojeva koji rade tiho, načinom ugradnje strojeva i akustičkom izolacijom izvora buke.



Magnetska komponenta konstrukcijske skrivenosti postaje sve važnija i u posljednje se vrijeme smanjuje ugradnjom uredaja za kompenzaciju magnetičnosti čeličnih masa podmornice.

Radarska skrivenost važna je samo u nadvodnoj plovidbi podmornice, a postiže se izborom materijala lakog trupa i oblikom tornja.

Toplinska komponenta konstrukcijske skrivenosti postaje sve važnija zbog sve veće osjetljivosti detektora infracrvenog zračenja. Zato se u prvom redu nastoji smanjiti temperatura ispušnih plinova u nadvodnoj i šnorkel vožnji, a zatim i ukupno toplinsko polje zaronjene podmornice.

Eksploracijska skrivenost obuhvaća postupke posade koje u podvodnoj vožnji dodatno smanjuju mogućnost otkrivanja podmornice kad se očekuje djelovanje protivnika. Pasivne su metode prikrivanja: smanjenje svih aktivnosti podmornice koje stvaraju šum, malošumni režim vožnje (šuljanje) ili spuštanje podmornice na dno. Aktivne metode prikrivanja su važnije, a sastoje se u maskiranju ili u zavođenju protivnika. U tu svrhu podmornica ima elektroničke uređaje za analizu stanja okoliša, vlastite zamjetljivosti i senzora protivnika. Na osnovi analize okoliša podmornica odlazi u sloj mora koji je najnepovoljniji za širenje zvuka. Sredstva za maskiranje ili za zavođenje protivnika podmornica ispušta pomoću posebnih uređaja.

PODMORNIČKI SISTEMI

Informacijski sistemi

Informacijski sistemi na podmornici obuhvaćaju uređaje, opremu i sredstva pomoću kojih se prikupljaju, obrađuju, prenose i prikazuju podaci važni za vođenje svih aktivnosti podmornice. Prema namjeni pojedini informacijski sistemi na podmornici služe za navigaciju, za komunikacije unutar podmornice i s vanjskim svijetom, za osmatranje i izviđanje, te za nadzor stanja i rada podmorničkih uređaja i mehanizama.

Navigacija. Najvažniji navigacijski uređaji na podmornici jesu: kompas, brzinomjer i dubinomjer, jer se pomoću njih neprestano mjeri kurs, brzina i dubina ronjenja, a to su najvažniji parametri plovidbe. U suvremenim integriranim sistemima upravljanja ti uređaji služe, osim za navigaciju, i za upravljanje podmornicom. Ostali navigacijski uređaji, oprema i pribor pomagala su koja olakšavaju vođenje navigacije.

Kompas je najstariji senzor na brodovima uopće, pa i na podmornici. Za razliku od površinskih brodova, na podmornici se nije nikada mogao upotrebljavati klasični magnetski kompas zbog efekta magnetskog oklopa čeličnog trupa, nego se na podmornici upotrebljava samo kompas na zvuk (v. *Brod, instrumenti i specijalni uređaji*, TE 2, str. 315).

Pomoću kompasa, brzinomjera i dubinomjera, gotovo sve podmornice, osim najmodernijih strateških podmornica, vode tzv. *zbrojenu navigaciju*, tako da od poznate početne pozicije crtanjem na karti pribrajuju u kursovima orientirane odsječke prevaljenog puta. U tu svrhu služi posebni uređaj (*zbirni stol*) koji na osnovi podataka o kursu i brzini podmornice automatski ucrtava na karti trajektoriju plovidbe, uzimajući u obzir mjerilo karte, vrstu projekcije karte, djelovanje morske struje, zanosa i ostalih vanjskih utjecaja.

Inercijska navigacija, potpuno zasnovana na veoma usavršenom kompasu na zvuk, sa senzorima ubrzanja u svim smjerovima slobode gibanja, vrlo je složena i primjenjuje se samo na velikim podmornicama, jer pouzdano zbrojene navigacije kroz dugo razdoblje plovidbe ne zadovoljava.

Komunikacije. Uređaji za komunikacije služe za unutrašnje i vanjske veze podmornice. Vanjske veze s udaljenim mjestima održavaju se pomoću radija ili hidroakustičkih uređaja, koji mogu biti samo prijemni ili primopredajni.

Na većim i najvećim udaljenostima potpuno zaronjena podmornica ne može održavati vezu radiom. Potrebno je da podmornica izroni na periskopsku dubinu i da iznad površine mora isturi primopredajnu radio-antenu.

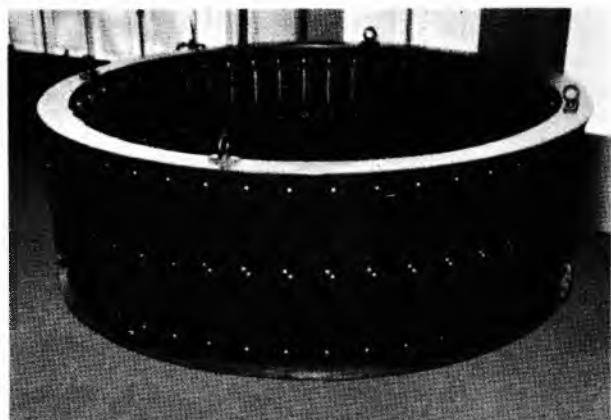
Nekada se za prijenos poruka zaronjenoj podmornici primjenjivao dugi val (1...10 km) (v. *Elektronika*, TE 4, str. 646, tabl. 1) koji je na niskim frekvencijama (LF 30...300 kHz) prodirao do 10 m ispod morske površine, pa je duga žična antena razapeta od pramca do krme mogla primiti upotrebljiv signal i na vrlo velikim udaljenostima od baze na kopnu. Suvremene podmornice strateške namjene služe se radio-vezom na vrlo niskim frekvencijama (VLF 3...30 kHz) čiji radio-val prodire i do dubine od 50 m. Pri tome podmornica za sobom tegli do 600 m dugu antenu s posebnim plovkom na kraju. Taj plovak podiže kraj antene na ~50 m ako je podmornica na većoj dubini, npr. 300 m. Budući da takva antena ograničava brzinu i manevriranje podmornice, uvodi se globalna komunikacija na ekstremno niskim frekvencijama (ELF 30...300 Hz) kojima se mogu i na velikim dubinama primati poruke s obalne stanice.

Hidroakustički uređaji za vezu izumljeni su u novije vrijeme. Pomoću takvih uređaja podmornica može održavati vezu s površinskim brodom, s diverzantom, spasiocima i, naravno s drugom podmornicom. Duboko zaronjena podmornica može uspostaviti vezu s avionom, helikopterom i kopnom preko radio-hidroakustičke plutače koja služi kao relejna stanica. Pomoću takve plutače mogu se uspostaviti veze na mnogo većim udaljenostima nego samo hidroakustičnim prijenosom.

Unutrašnje veze, kao što su telefon, razglas i interfon, služe za prijenos naredbi i obavijesti između borbenih stanica unutar podmornice.

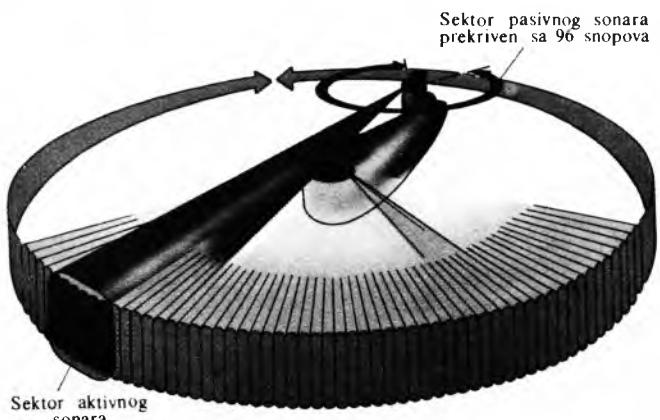
Osmatranje. Potpuno zaronjena podmornica nema neposrednog uvida u stanje oko sebe. Zato je veoma važno za podmor-

nici posredno i neposredno osmatranje okoliša radi prikupljanja podataka. Nekada su podmornice imale za osmatranje površine mora samo periskop opće namjene. Kasnije su uvedeni osmatrački i napadni periskopi za mjerjenje udaljenosti cilja, kad je vanjska vidljivost dovoljna. Primjena optoelektroničkih senzora (v. *Optoelektronika*, TE 9, str. 694) važna su dopuna klasičnog periskopa za rad u noći, mjerjenje daljine, registriranja slike obzorja itd.



Sl. 49. Cilindrična hidrofonska antena podmorničkog pasivnog sonara

Razvoj elektronike omogućio je da podmornica u zaronjenom stanju može pomoći pasivnih hidroakustičkih prislušnih uređaja (*sumosmjerača*, sl. 49) određivati elemente cilja na površini ili pod vodom. Za otkrivanje podmornica za vrijeme drugoga svjetskog rata je razvijen *aktivni hidroakustički lokator-sonar*, koji je brzo primijenjen i na podmornicama kao precizno sredstvo za određivanje daljine i smjera cilja ili prepreke. Aktivni sonar emitira kratke impulse ultrazvučne energije i prima odraze od objekata na koje nađe emitirani val na putu kroz vodu. Dva su velika nedostatka aktivnog sonara; domet mu nije velik, a kad s njime radi, podmornica se otkriva protivniku. Zbog toga se nastoji usavršiti stariji *pasivni sonar* koji, uz prikladan raspored prislušnog hidrofona, može otkriti cilj na većim daljinama, precizno odrediti smjer, a pomoći elektroničkom računalu proračunati i daljinu (sl. 50).



Sl. 50. Područja prekrivanja pasivnog i aktivnog sonara na podmornici. Aktivni sonar sa svojim uskim snopom uključuje se u smjer određen pasivnim sonarom na osnovi pretraživanja u punom krugu oko podmornice

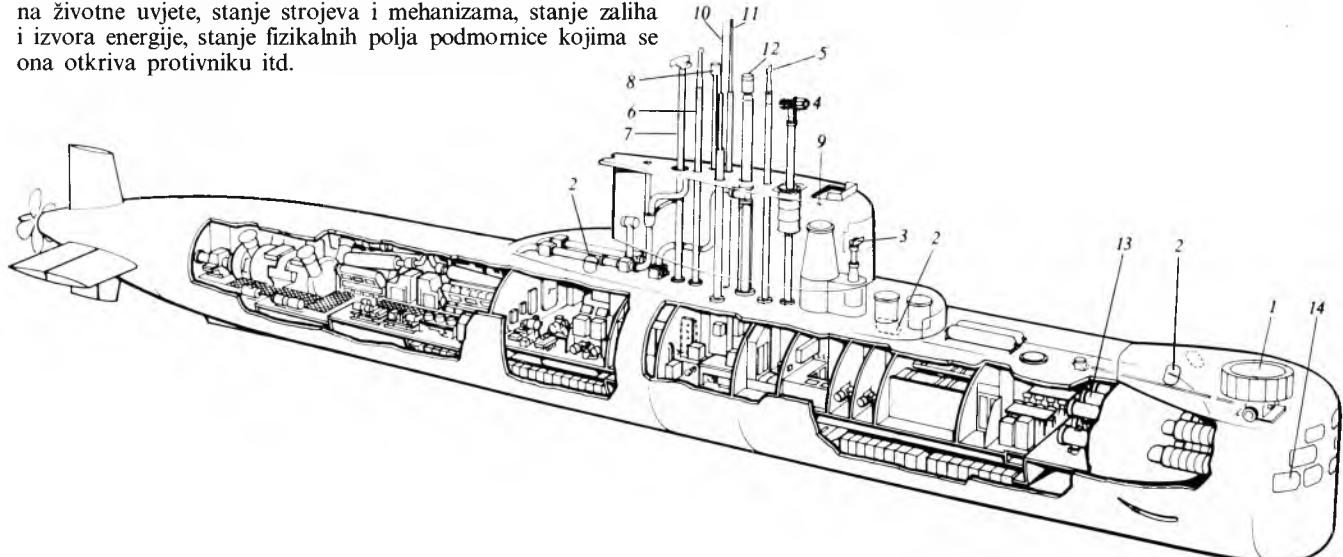
Još od drugoga svjetskog rata podmornice osmatraju morskú površinu pomoću radara s antenom na posebnom izvlačivom jarbolu (sl. 51). Radar se mora upotrebljavati vrlo oprezno da podmornica ne bi otkrila svoj položaj. Mnogo više se primjenjuje pasivni uređaj, tzv. *lokator radara*, kojemu se antena izvlači prije periskopa, šnorkela, radara itd., da bi se ustavilo da li površinu iznad podmornice osmatra protivnički radar koji lako zapaža čak i kratkotrajno isturanje glave periskopa.

Nadzor stanja podmornice. Sistemi i uređaji za nadzor stanja podmornice imaju senzore raspoređene po podmornici, a naro-

čito na udaljenim i nedostupnim mjestima. Svi su senzori priključeni na centralni uređaj koji stalno obrađuje podatke što su ih izmjerili senzori i uspoređuje ih s dopuštenim vrijednostima, uzimajući u obzir sve međuzavisnosti. Tako se dobiva informacija o tendenciji da nastupi granično stanje, pa se mogu pravodobno poduzeti preventivni zahvati.

Najvažnije grupe nadzora stanja jesu: stanje svih otvora u čvrstom trupu i unutar podmornice, stanja ambijenta s obzirom na životne uvjete, stanje strojeva i mehanizama, stanje zaliha i izvora energije, stanje fizičkih polja podmornice kojima se ona otkriva protivniku itd.

je neodrživa, pa su se razvili integrirani sistemi u kojima broj senzora i njihova složenost nisu ograničeni mogućnostima percepcije posade (sl. 52). Podaci prikupljeni sa svih senzora skupljaju se u zajedničkoj banki podataka i otuda ih elektroničko računalo uzima na obradbu. Rezultati obradbe prikazuju se tekstom ili grafički na pokazivačima (ekranima katodnih cijevi) i neposredno služe da se započe i obavi neka radnja ili ma-



Sl. 51. Raspored različitih antena i senzora na podmornici od 59,5 m duljine i 1390 t podvodne istisnine. 1 cilindrična hidrofonska baza pasivnog promatračkog sonara, 2 uzdužna hidrofonska baza pasivnog sonara za mjerjenje udaljenosti, 3 pokretna antena aktivnog sonara, 4 lanser protuzračnih raketa, 5 promatrački periskop, 6 napadni periskop, 7 jarbol radarske antene, 8 jarbol detektora strane radarske aktivnosti, 9 elastična štapna antena VF/VVF stanice, 10 teleskopska uvlačiva radio-antena, 11 jarbol UVF radio-antene, 12 uvlačiva cijev šnorkela, 13 torpedni aparati (8 komada), 14 vanjski poklopac torpednog aparata

Integrirani informacijski sistemi. Zadaci i djelovanje suvremenе podmornice postaju sve složeniji, pa raste broj i složenost informacija potrebnih za vođenje podmornice i njeno borbeno djelovanje. Klasična konцепција da pojedinim senzorima pripadaju posebni uređaji i uz njih posebni poslužioци postala

nevar. Informacije na pokazivaču mogu biti filtrirane tako da po obliku i sadržaju najbolje posluže korisniku.

U integriranom sistemu nema više granica između klasičnih uređaja. Na primjer, giroskopska platforma, koja zamjenjuje girokompas, ne služi samo za klasičnu ili inercijsku navigaciju, nego podaci tog kompleksnog senzora djeluju izravno na kormilarenje podmornicom i po smjeru i po dubini, na upravljanje vatrom oružja, na osmatranje itd. Uvođenjem integriranih sistema nestala je podjela između osmatranja i upravljanja vatrom oružja, što je posve logično, ali nije bilo ostvarljivo u ranije razdvojenim sistemima.

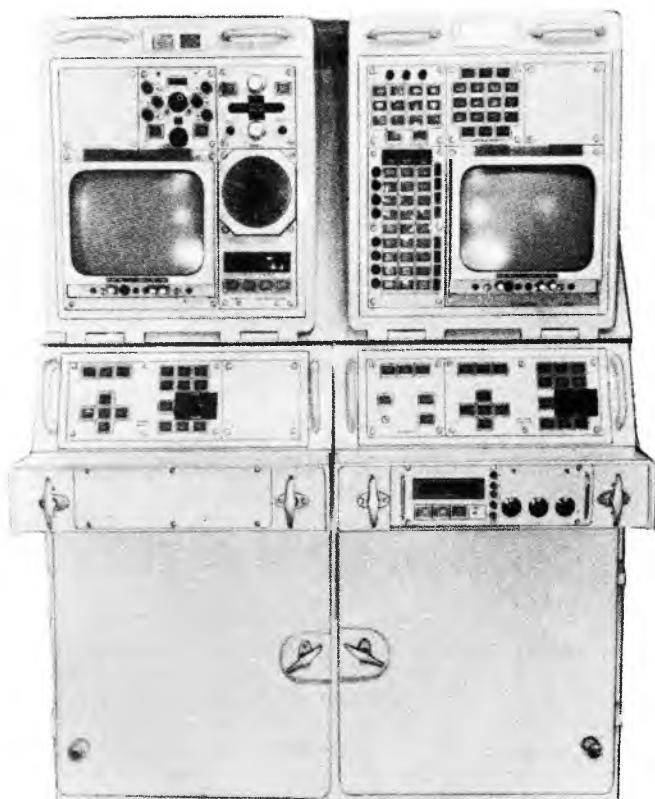
Najveći dio kapaciteta procesnog računala služi za praćenje cilja i proračun elemenata gađanja. Cilj se najuspješnije, i za podmornicu najsigurnije, prati pasivnim sonarom, ali pri tom je potrebno mnogo složenih računskih operacija da bi se iz niza uzastopnih smjeranja odredila daljina cilja. Iz niza podataka o promjeni smjera i daljine cilja određuju se elementi gibanja cilja i dovode u korelaciju s gibanjem podmornice i oružja da bi se odredili elementi gađanja.

Sistemi za upravljanje podmornicom

Uređaji za upravljanje podmornicom dovode i održavaju podmornicu na određenom kursu (horizontalna ravnina) i na određenoj dubini i kutu trima (vertikalna ravnina). Ti uređaji u toku vožnje aktiviraju kormila i upravljive tankove, te pomoći njih mijenjaju stanje, tj. položaj i gibanje podmornice u prostoru.

Kurs podmornice mijenja se pomoću smjernih kormila, dok se pomoću dubinskih kormila (pramčanih i krmenih hidroplana) i pomoći pramčanih i krmenih trim-tankova mijenja kut trima i utječe na dubinu ronjenja. Upravljivi regler-tank utječe samo na dubinu ronjenja podmornice.

Uređaji za upravljanje podmornicom stalno se usavršavaju. Prve su podmornice imale posebne poslužioce koji su rukovali pojedinim kormilima i upravljivim tankovima. Rad svih poslužilaca koordinirao je komandant podmornice izdavanjem naredbi o potrebnom kursu, dubini ili kutu trima podmornice. Razvojem uređaja za upravljanje nisu uvedena samo tehnička poboljšanja, već je smanjen broj poslužilaca, a komandant je



Sl. 52. Upravljački pult integriranog informacijskog sistema na podmornici

rasterećen od stalnog nadzora nad svakim detaljem upravljanja. Integracija odvojenih uređaja u kompleksne uređaje za upravljanje (sl. 53) omogućuje da samo jedan član posade bude zadužen za upravljanje (pilot). Osim toga, upravljanje se u nekim režimima plovidbe može potpuno automatizirati, pa pilot samo prati proces vožnje i intervenira ako za to nastupi potreba.

Suvremene podmornice zahtijevaju vrlo precizno i stabilno upravljanje po kursu, dubini i kutu trima. Budući da je podmornica dinamički sistem sa šest stupnjeva slobode i da je izložena brojnim nelinearnim i nepredvidljivim poremećajima, upravljanje zasnovano na refleksima prošjećnog poslužioca nikako ne može zadovoljiti zahtijevanu preciznost. U uvjetima eksploracije suvremenih podmornica potrebna preciznost upravljanja može se postići jedino pomoću integriranih upravljačkih sistema koji su vođeni električkim računalom. Najsloženiji zadatak računala je da optimira proces upravljanja.



Sl. 53. Pult za automatsko upravljanje podmornicom po smjeru i dubini

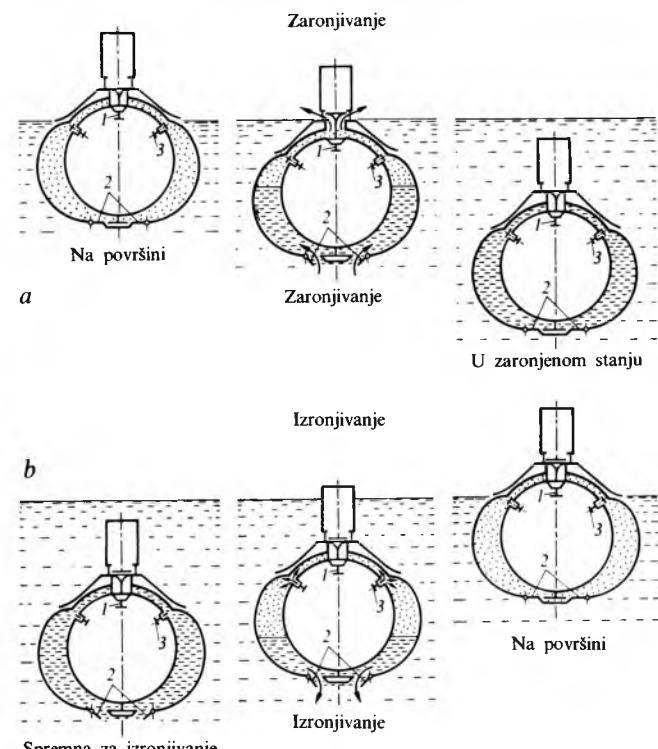
Procesno računalo centralni je dio integralnog sistema u koji ulaze, osim izvršnih organa, i svi senzori za mjerjenje parametara stanja, sklopovi za automatski nadzor ispravnosti i uključivanje rezervi, te elementi za komunikaciju s pilotom. Suvremeni uređaji omogućuju pilotu da u svakom trenutku utječe na upravljanje i, ako je potrebno, da ga potpuno preuzme u svoje ruke.

V. Kristić

Sistem za zaronjivanje i izronjivanje. Podmornica zaronjuje i izronjuje tako da joj se promijeni istisnina plavljenjem ili pražnjenjem glavnih tankova ronjenja. Na površini podmornica plovi s praznim tankovima ronjenja, a u podvodnoj su vožnji glavni tankovi ronjenja naplavljeni morskom vodom.

Sistem za zaronjivanje i izronjivanje podmornice u osnovi se sastoji od *glavnih tankova ronjenja* s uređajima za plavljenje i odušivanje tankova (*plavnici i odušnici*), te sistema cjevovoda komprimiranog zraka za pražnjenje (*pirenje*) glavnih tankova ronjenja.

Plovnik glavnog tanka ronjenja ugrađen je na dnu tanka, a odušnik pri vrhu tanka. Pri plavljenju tanka otvoreni su plavnik i odušnik, a za vrijeme pirenja otvoren je samo plavnik. Na sl. 54 prikazan je redoslijed otvaranja i zatvaranja odušnika i plavnika prilikom zaronjivanja i izronjivanja podmornice, te stanja glavnih tankova ronjenja u pojedinim fazama tih procesa. Plavnici i odušnici opremljeni su za lokalno ručno i za daljinsko elektrohidrauličko ili elektropneumatsko upravljanje. Daljinski se upravlja s trim-pulta koji je glavno upravljačko i signalno mjesto za sistem zaronjivanja i izronjivanja podmornice.

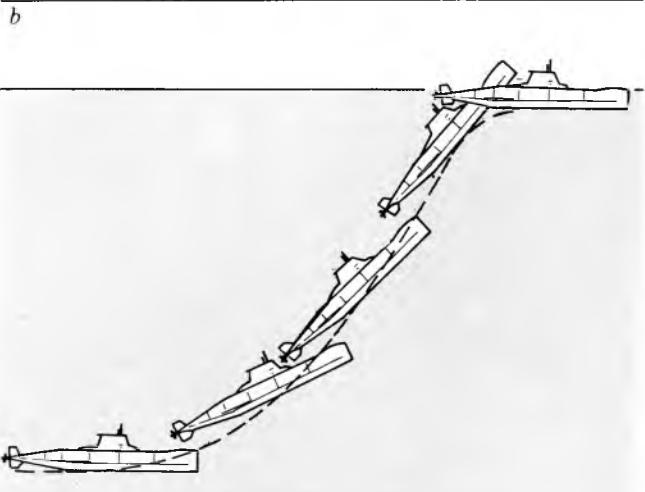
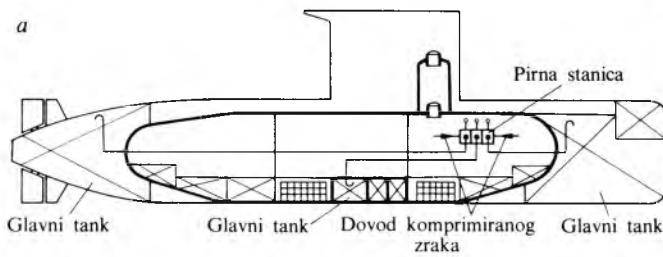


Sl. 54. Proces zaronjivanja i izronjivanja podmornice. a) zaronjivanje. Na površini: zatvoreni su odušnici (1) i plavnici (2) glavnih tankova ronjenja koji su nenaplavljeni. Zaronjivanje: otvoreni su odušnici (1) i plavnici (2) pa se glavni tankovi ronjenja plave. U zaronjenom stanju: odušnici (1) su zatvoreni, plavnici (2) zatvoreni ili otvoreni, a glavni tankovi ronjenja naplavljeni. b) izronjivanje. Podmornica spremna za izronjivanje: odušnici (1) su zatvoreni, plavnici (2) otvoreni, a sistem komprimiranog zraka pripremljen za pirenje glavnih tankova ronjenja. Izronjivanje: odušnici (1) su zatvoreni, plavnici (2) otvoreni, a komprimirani zrak kroz ventile (3) dostružuje u glavne tankove ronjenja i istiskuje iz njih vodu (pirenje tankova).

Sistem cjevovoda komprimiranog zraka za pirenje vode iz glavnih tankova ronjenja opskrbljuje se zrakom iz spremnika sistema komprimiranog zraka tlaka 200–250 bar. Iz jedne ili više ventilnih stanica (*pirnih stanica*) razvodi se komprimirani zrak kroz pripadne cjevovode i armaturu u glavne tankove ronjenja (sl. 55a). Radi stednje komprimiranog zraka obično je na podmornici paralelno ugrađen i sistem za dodatno pirenje glavnih tankova ronjenja ispušnim plinovima Dieselovog motora. Starije podmornice imale su u istu svrhu sistem s centrifugalnim kompresorom visine dobave 0,7–1,5 bar (*pirilo*). Oba se sistema stavljuju u pogon nakon što podmornica pirenjem određenog broja tankova komprimiranim zrakom djelomično izroni na površinu.

Radi brzog pirenja glavnih tankova ronjenja, odnosno brzog izronjivanja pri spasavanju u nesrećama, suvremene podmornice imaju i sistem komprimiranog zraka tlaka do 400 bar, za pirenje glavnih tankova ronjenja. Najmoderneje podmornice imaju u tankovima ronjenja ugrađene generatore plina za brzu proizvodnju plina na bazi hidrazina ili čvrstog goriva, kojima se i pri maksimalnim dubinama ronjenja podmornice vrlo brzo istisne voda iz glavnih tankova ronjenja. Brzo izronjivanje podmornice aktiviranjem hidrazinskih generatora plinova u glavnim tankovima ronjenja.

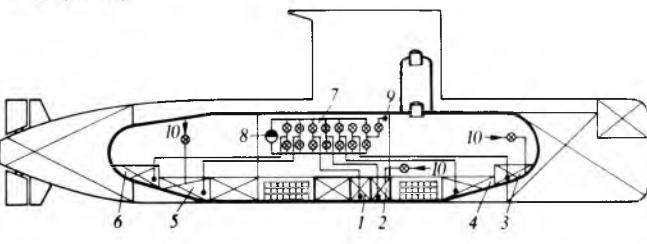
nim tankovima ronjenja, uz istovremeni poriv propulzivnog uređaja, prikazano je na sl. 55b.



Sl. 55. a shema sistema cjevovoda za pirenje glavnih tankova ronjenja, b brzo izronjivanje podmornice pirenjem tankova ronjenja pomoću hidrauzinskog plina

Sistem uravnoteženja podmornice. Pomoću sistema za uravnoteženje (trimovanje) zaronjena se podmornica uravnotežeju u horizontalnoj ravnini i njena se težina izjednačuje s uzgonom. Za uravnoteženje (trimovanje) podmornice služe pramčani i

krmeni trim-tankovi, smješteni na krajnjim dijelovima pramca i krme, i regler-tankovi, smješteni u području težišta podmornice (sl. 56).



Sl. 56. Shema sistema cjevovoda za uravnoteženje podmornice. 1 plavni regler-tank, 2 pirni regler-tank, 3 pramčani pirni trim-tank, 4 pramčani plavni trim-tank, 5 krmeni pirni trim-tank, 6 krmeni plavni trim-tank, 7 trim-stanica, 8 trim-pumpa, 9 spoj s morem, 10 dovod komprimiranog zraka

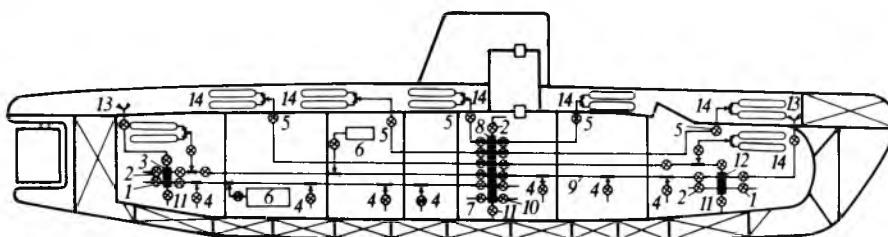
Punjenjem i pražnjenjem regler-tankova izjednačuje se težina podmornice s uzgonom, a prebacivanjem morske vode između krmenih i pramčanih trim-tankova izjednačuju se pramčani i krmeni trim-momenti. Morska se voda unutar sistema prebacuje komprimiranim zrakom, pumpom ili hidrostatskim tlakom mora pomoću razvodne ventilne stanice (*trim-stanice*). Ta je stanica cjevovodima i armaturom spojena s tankovima i s morem. Na suvremenim podmornicama voda za uravnoteženje prebacuje se pomoću komprimiranog zraka, a kao rezerva služi pumpa (*trim-pumpa*). Svi sistemi za uravnoteženje podmornice s komprimiranim zrakom imaju po dva pramčana i krmena trim-tanka i dva regler-tanka. Po jedan od tih tankova stalno je pod tlakom zraka i zove se pirni trim-tank, odnosno pirni regler, a drugi je stalno odušen i zove se plavni trim-tank, odnosno plavni regler. Prebacivanje morske vode ide u smjeru od pirnog regler-tanka prema plavnom trim-tanku, odnosno od pirnog regler-tanka prema moru i od mora prema plavnom regler-tanku. U sistemima za uravnoteženje koji imaju samo trim-pumpu, trim-tankovi su jednostruki i samo je jedan regler-tank.

Svi ventili u trim-stanici opremljeni su za lokalno ručno i daljinsko elektrohidrauličko upravljanje. Na suvremenim podmornicama sve radnje uravnoteženja podmornice izvode se automatski u sklopu integriranog sistema upravljanja.

Zračni, hidraulički, ventilacijski i klimatizacijski sistemi

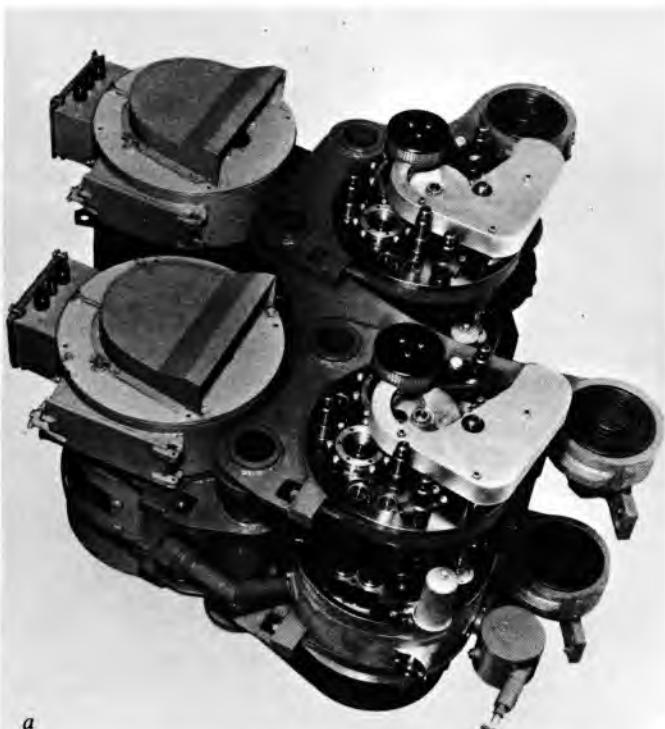
Sistem komprimiranog zraka. Sistemom komprimiranog zraka akumulira se potencijalna energija zraka koji služi za zaronjivanje i izronjivanje podmornice, za torpedni napad, za uravnoteženje podmornice ispod površine mora, za spasavanje te za rad niza drugih sistema, uređaja i mehanizama.

Sistem komprimiranog zraka sastoji se od kompresora, spremnika zraka (boca), jedne ili više razvodnih ventilnih stanica, te cjevovoda s pripadnom opremom i armaturom (sl. 57). Podmornica je opremljena jednim ili s više visokotlačnih kompresora, već prema njenoj istisnini i tipu. Postoje male diverzantske podmornice bez ugrađenog kompresora; njihovi spremnici komprimiranog zraka pune se u bazi ili sa drugoga plovнog objekta.



Sl. 57. Shema sistema komprimiranog zraka. 1 ventili torpednih uređaja, 2 ventili za pirenje glavnih tankova ronjenja, 3 krmena razvodna stanica komprimiranog zraka, 4 ventil za stavljanje pojedinih odseka pod tlak zraka, 5 zaporni ventil zraka na oplati čvrstog trupa, 6 kompresori, 7 ventil za pirenje tankova brzog ronjenja, 8 glavna razvodna stanica komprimiranog zraka, 9 glavni kolektor zraka, 10 ventil za zrak niskog tlaka, 11 ventili za odušivanje razvodne stanice komprimiranog zraka, 12 pramčana razvodna stanica komprimiranog zraka, 13 priključak na vanjski (lučki ili brodski) sistem zraka, 14 spremnici komprimiranog zraka

Podmornički kompresor je visokotlačni zračni kompresor vi-sine dobave 200...250 bar, a na najmodernijim podmornicama i do 400 bar. Dobava kompresora iznosi obično 2...10 dm³/min pri normalnoj visini dobave. Kompresori su četverostepeni, ojačane i na udare otporne konstrukcije. Hlade se neposredno morskom vodom, a pogone istosmjernim elektromotorima. Na starijim podmornicama ugrađivali su se i kompresori pogonjeni Dieselovim motorom (Junkersova izvedba). Na sl. 58a prikazan je sklop od dva podmornička kompresora francuske tvrtke *Techniques Girodin* postavljen na zajedničkom postolju. Do-



a



b

Sl. 58. Podmornički kompresor francuske tvrtke *Techniques Girodin* ugrađen na podmornici *Daphné*. a par kompresora na zajedničkom postolju, b pogonski mehanizam kompresora

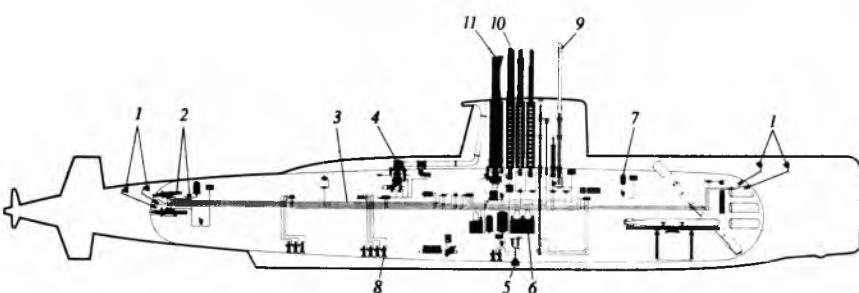
bava kompresora iznosi $2 \times 4 \text{ dm}^3/\text{min}$ pri visini dobave od 250 bar. Takav kompresor ima poseban pogonski mehanizam (sl. 58b) i vrlo kompaktnu konstrukciju, a može dobavljati komprimirani zrak i do 400 bar.

Spremnici zraka (boce) sadrže 20...600 litara. Smješteni su u čvrstom trupu podmornice, obično između rebara i ispod podnica, i izvan čvrstog trupa u glavnim tankovima ronjenja i prostorima ispod palube. Svi spremnici i ostala oprema sistema komprimiranog zraka te materijal od kojeg su izrađeni ispituju se prije ugradivanja u podmornicu prema posebnim propisima. Ispitni je tlak spremnika i armature 1,5...2 puta veći od radnog tlaka, a pri maksimalnom ispitnom tlaku plastična deformacija spremnika mora biti manja od 2% iznosa elastične deformacije.

M. Franić

Hidraulički sistem. Na podmornici se hidraulički sistem sastoji od hidrauličkih pumpi, sistema cjevovoda i hidrauličkih grana koje završavaju hidrauličkim izvršnim uređajima: hidrauličkim cilindrima za pravocrtno gibanje i hidrauličkim motorima za okretanje ili za zakretanje (sl. 59).

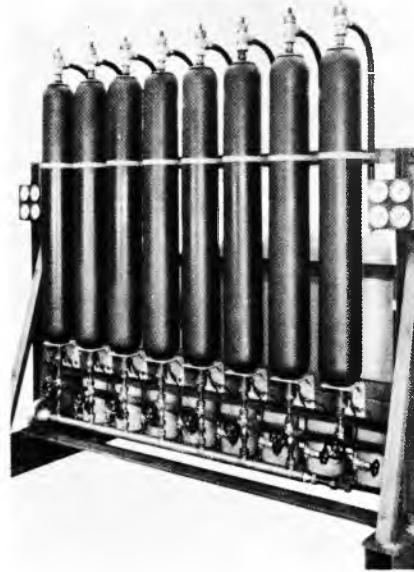
Da bi hidraulički izvršni uređaji radili prema zadanim parametrima, u njihovim granama postoje različite vrste razvodnika, regulatora te sigurnosnih i mjernih instrumenata. Broj i vrsta hidrauličkih grana ovisi o broju i vrsti uređaja koje hidraulički izvršni uređaji pokreću, a to su smjerna kormila, pramčani i krmeni hidroplani, periskop, radar, odušnici, plavnici itd. Neke od tih hidrauličkih grana pružaju se i izvan čvrstog trupa podmornice, pa cjevni spojevi moraju imati dvostrano brtvenje, i prema moru, i prema ulju, da morska voda ne bi prodrla u hidraulički sistem.



Sl. 59. Hidraulički sistem podmornice. 1 odušnici, 2 hidraulički cilindri kormila i hidroplana, 3 glavni hidraulički vodovi, 4 ispušni ventili, 5 plavnik, 6 hidraulička centrala, 7 rezervni hidraulički sistem, 8 kingston-ventili, 9 periskop, 10 radar, 11 usisna cijev šnorkela

Osim uvjeta koji su jednaki za sve hidrauličke sisteme, hidraulički sistem podmornica mora osigurati rad svih uređaja uz minimalnu razinu šuma za vrijeme plovidbe šuljanjem. To su obično sistemi otvorenog kružnog toka, najčešće ispunjeni hidrauličkim uljem ili sintetskim tekućinama.

Broj, vrsta i veličina hidrauličkih pumpi ovisi o broju hidrauličkih izvršnih uređaja. To su uglavnom malošumne viščane pumpe ili specijalne izvedbe klipnih pumpi promjenljivog kapaciteta. U sistemu pumpi predviđeni su akumulatori s gumenim elastičnim mijehom ili membranom, ili klipni akumulatori (sl. 60) koji pokrívaju vršnu potrošnju kad dobava pumpi nije dovoljna. Osim toga, akumulatori prigušuju pulzacije radnog medija zbog rada pumpi i hidrauličke udare uzrokovane naglim promjenama u hidrauličkim granama (pokretanje, zaustavljanje, promjene opterećenja, promjene brzine).



Sl. 60. Baterija hidrauličkih akumulatora

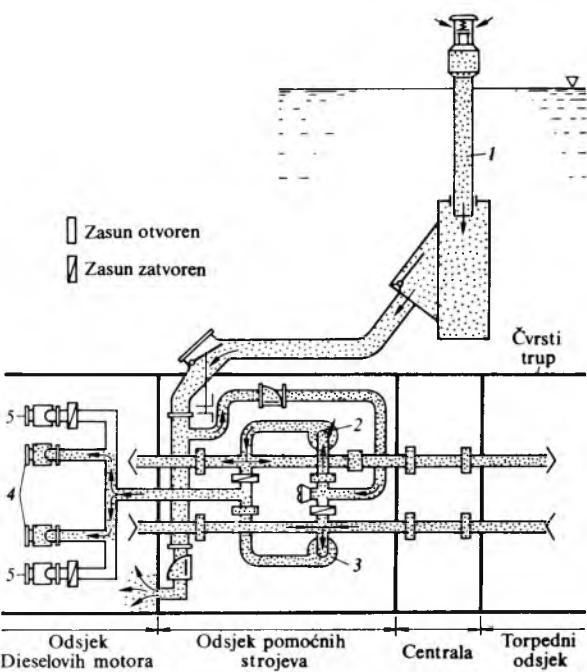
Za vitalne uređaje podmornice predviđeni su rezervni hidraulički sistemi koji mogu služiti za rad jednog ili više uređaja. Obično su to jednostavniji hidraulički sistemi s posebnim tankom i hidrauličkom pumpom, ili su to dijelovi hidrauličkih grana. Oni rade kad je opći hidraulički sistem podmornice u kvaru. Projektirani su tako da je prijelaz na rezervni sistem jednostavan i brz.

Hidraulički sistemi koji su predviđeni samo za određene vrste uređaja, posebna su hidraulička cjelina i nisu povezani s općim hidrauličkim sistemom podmornice. Takvi posebni sistemi pokreću aktivni sonar, okreću radarsku antenu ili služe za pogon brodskog vijka u vožnji šuljanja. Mogu biti otvorenog, poluzatvorenog ili zatvorenog kružnog toka. Na manjim podmornicama takav sistem dolazi u obzir i za glavni pogon.

D. Patarić

Sistem ventilacije i klimatizacije. Za vrijeme površinske i šnorkel plovidbe ventilacijom se u podmornici izmjenjuje zrak potreban za život posade i za rad pogonskih i drugih uređaja. U podvodnoj plovidbi ventilacijom se miješa zrak unutar podmornice radi bolje regeneracije zraka u uređajima koji odstranjuju ugljik-dioksid i obnavljaju potrošeni kisik.

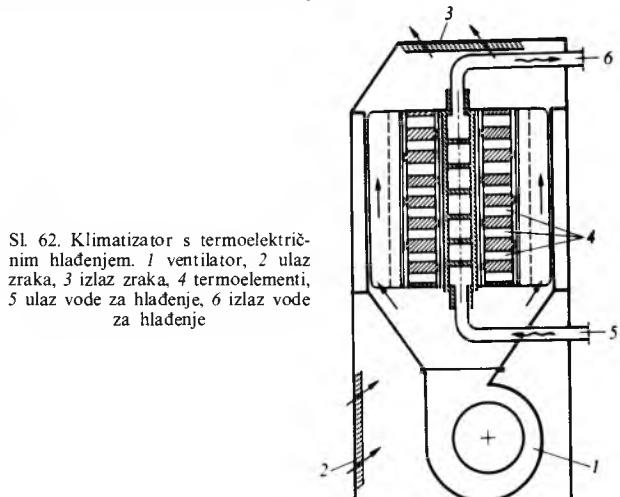
Sistem za ventilaciju na podmornici obično se sastoji od dva ventilatora i dva ventilacijska kanala ugrađena uzduž podmornice s ograncima za ventilaciju pojedinih odsjeka i akumulatorskih baterija. Jedan ventilator služi za dobavu svježeg zraka u podmornicu, a drugi odstranjuje onečišćeni zrak iz podmornice. Svježi se zrak dobavlja kroz šnorkel, a onečišćeni se zrak odvodi iz podmornice kroz usisni sistem Dieselovih motora kad motori nisu u pogonu. Kad Dieselovi motori rade, onečišćeni se zrak vodi u usisne filtre Dieselovih motora, pa s ispušnim plinovima odlazi izvan podmornice (sl. 61). U kon-



Sl. 61. Shema izmjene zraka za vrijeme šnorkel vožnje. 1 šnorkel, 2 tlačni ventilator za dobavu svježeg zraka u podmornicu, 3 usisni ventilator za izbacivanje onečišćenog zraka iz podmornice, 4 spoj ventilacije na usisne filtre Dieselova motora, 5 spoj ventilacije na glavne ispušne ventile Dieselova motora

vencionalnim podmornicama veće istisnine zrak u podmornici izmjenjuje se kroz posebni tlačni i usisni ventilacijski stup, a ne kroz ispušni sistem Dieselovih motora.

U sistem ventilacije podmornice priključena je i ventilacija akumulatorskih baterija. Akumulatorska baterija razvija vodik, pa se bez dobre ventilacije ne bi mogla ni upotrebljavati ni održavati. Zato je ventilacija prostora za akumulatorske baterije veoma važna za sigurnost podmornice.



Sl. 62. Klimatizator s termoelektričnim hlađenjem. 1 ventilator, 2 ulaz zraka, 3 izlaz zraka, 4 termoelementi, 5 ulaz vode za hlađenje, 6 izlaz vode za hlađenje

Radi što boljih uvjeta za život i rad posade, te radi održavanja skupe elektroničke opreme, suvremene podmornice imaju uz ventilaciju i klimatizacijski uređaj. Klimatizacijom zraka postiže se i neprekidno održava zadani sastav i stanje zraka (temperatura, relativna vlažnost, brzina strujanja i čistoća), neovisno o unutrašnjim i vanjskim uvjetima. Uređaji za klimatizaciju zraka dosta su složeni, jer je atmosfera u podmornici stalno izložena promjenama. Za klimatizaciju zraka u podmornici služe klasični rashladni uređaji, a u najnovijim nuklearnim podmornicama i uređaji s termoelektričnim hlađenjem (sl. 62). U posljednje vrijeme sistemi za klimatizaciju imaju specijalne kemijske i apsolutne filtre koji odstranjuju toksične plinove i aerosole.

M. Franić

ODRŽAVANJE ŽIVOTNIH UVJETA U PODMORNICI

U podmornici moraju se osigurati biološki i zdravstveni uvjeti za održavanje života, te za radnu i borbenu sposobnost posade. To se postiže održavanjem prikladne mikroklimne, prikladnim radnim i boravišnim uvjetima, ispravnom prehranom i zaštitom od radijacije.

Mikroklima

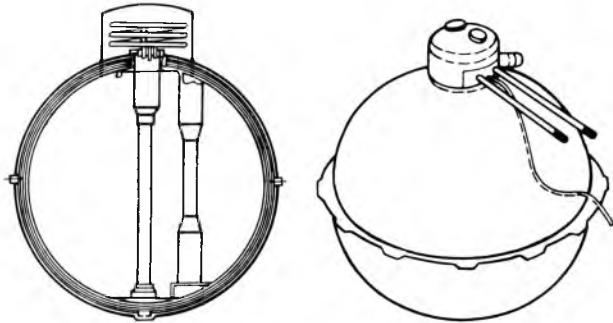
Da se u podmornici za vrijeme ronjenja održe potrebnii mikroklimatski uvjeti, provodi se regeneracija i klimatizacija zraka, pročišćivanje zraka, preventivna zaštita i kontrola zraka.

Regeneracija zraka. Najveća promjena plinskog sastava zraka u podmornici nastaje zbog metabolizma ljudi, jer se disanjem stalno smanjuje sadržaj kisika, a povećava koncentracija ugljik-dioksida i vlage u zraku. Te su promjene to veće što je posada aktivnija i troši više energije pa je i metabolizam veći.

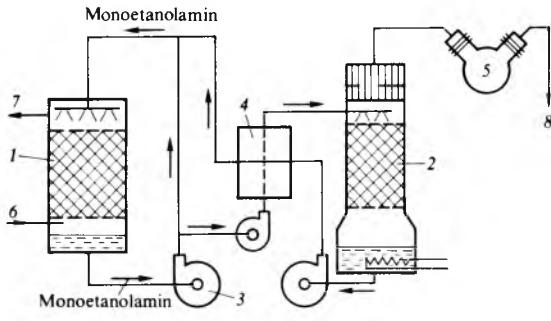
U konvencionalnim podmornicama čovjek troši $\sim 25 \text{ dm}^3/\text{h}$ kisika i razvija $\sim 22 \text{ dm}^3/\text{h}$ ugljik-dioksid. U nuklearnim podmornicama, uglavnom zbog veće aktivnosti posade u slobodno vrijeme, potrošak kisika po članu posade iznosi $\sim 30 \text{ dm}^3/\text{h}$, a razvija se $\sim 25 \text{ dm}^3/\text{h}$ ugljik-dioksid. Zbog pomanjkanja kisika u zraku čovjeku slabiji vid i moć rasuđivanja, a kad udio kisika u zraku postane manji od 11%, nastupa nesvjestica i smrt. Minimalni dozvoljeni udio kisika u zraku podmornice iznosi 18...19%, a maksimalni dozvoljeni udio 23...25%. Iznad te koncentracije kisika u zraku svi organski materijali postaju lako zapaljivi i plamen se brzo širi. Maksimalni dozvoljeni udio ugljik-dioksida ovisi o trajanju ronjenja, a najčešće iznosi 1...1,5%. S povećanom koncentracijom ugljik-dioksida u zraku pojavljuje se glavobolja, povraćanje i nesvjestica, a pri koncentraciji od 8...10% nastupa smrt.

Ima nekoliko postupaka regeneracije zraka u podmornici. Regenerator zraka s pločama od kalij-superoksida djeluje na principu reakcije vlage iz zraka i kalij-superoksida. Tom se reakcijom iz kalij-superoksida oslobađa kisik, a dobiveni kalij-hidroksid veže se s ugljik-dioksidom iz zraka, pa nastaje kalij-karbonat i voda.

Regenerator s kloratnom svijećom i patronom s granulama litij-hidroksida ima dva dijela. U prvom dijelu regeneratora izgara kloratna svijeća (smjesa natrij-klorata, željezne pilovine



Sl. 63. Spremnik tekućeg kisika



Sl. 64. Shema uređaja za apsorpciju ugljik-dioksida. 1 kolona za apsorpciju, 2 kolona za desorpciju, 3 pumpa za monoetanolamin, 4 izmjenejavač topline, 5 kompresor ugljik-dioksida, 6 ulaz zraka onečišćenog ugljik-dioksidom, 7 izlaz čistog zraka, 8 odvod ugljik-dioksida

i barij-peroksida) i razvija kisik, a u drugom dijelu patrone s granulama litij-hidroksida apsorbiraju iz zraka ugljik-dioksid. Za dobivanje kisika može se, umjesto kloratne svijeće, upotrijebiti boca s komprimiranim ili tekućim kisikom (sl. 63).

Za regeneraciju zraka u nuklearnim podmornicama provodi se kisik elektrolizom destilirane vode, a u posebnom se uređaju pomoću monoetanolamina apsorbira iz zraka ugljik-dioksid (sl. 64). U prvoj koloni uređaja hladni monoetanolamin apsorbira ugljik-dioksid iz struje zraka. U drugoj se koloni zagrijavanjem oslobađa vezani ugljik-dioksid i komprimira u čelične boce, a monoetanolamin se vraća natrag u prvu kolonu. U pogodnom trenutku ispušta se komprimirani ugljik-dioksid iz boca u more. Takav postupak regeneracije zraka troši mnogo energije, pa se ne primjenjuje u konvencionalnim podmornicama.

Klimatizacija zraka. Temperatura, vlažnost i strujanje zraka održavaju se sistemom ventilacije i klimatizacije. Regeneracija zraka kalij-superoksidadom mnogo pridonosi održavanju vlažnosti i strujanja zraka. Tim se postupkom održava relativna vlažnost od 65...75%, dok bi ostalim postupcima regeneracije, kad ne bi bilo klimatizacije, relativna vlažnost zraka iznosila 90...95%.

Za boravišne prostorije i stalna radna mjesta u podmornici optimalna je temperatura 20...24 °C i relativna vlažnost od 50...60%. U energetskim prostorijama dozvoljava se temperatura do 38 °C bez ograničenja vlažnosti zraka, a u reaktorskoj prostoriji nuklearnih podmornica do 57 °C.

Normalni je tlak zraka u podmornici $\sim 0,1 \text{ MPa}$. U šnorkel vožnji dozvoljava se podtlak do 0,09 MPa. Tlak naraste iznad 0,1 MPa samo ako raste temperatura u podmornici ili ako sistem komprimiranog zraka dobro ne brti pa propušta zrak.

Pročišćivanje zraka. Osim promjena osnovnog sastava, zrak se u podmornici neprekidno onečišćuje različitim primjesama. Vrste i količine tvari što onečišćuju zrak ovise o vrstama i

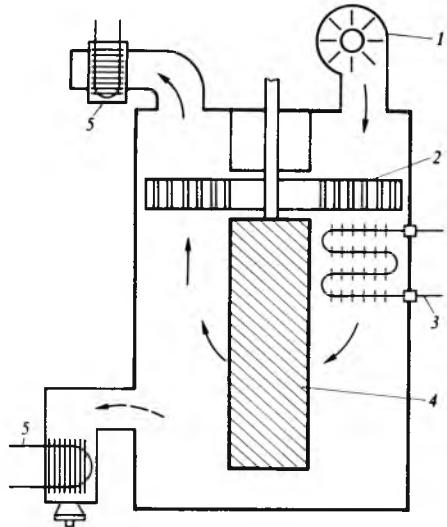
Tablica 4
MAKSIMALNO DOPUŠTENA KONCENTRACIJA NEKIH ŠTETNIH TVARI U ZRAKU PODMORNICE PREMA AMERIČKIM NORMAMA

Naziv tvari	Kemijska formula	Vjerovatni izvor	Granica do 1 sata ronjenja cm^3/m^3	Granica do 24 sata ronjenja cm^3/m^3	Granica do 90 dana ronjenja cm^3/m^3
Akrolein	CH_2CHCHO	Kuhinja		0,1	
Amonijak	NH_3	Produkti metabolizma	400	50	25
Benzen	C_6H_6	Otapala		100	10
Dušik-dioksid	NO_2	El. izbjivanja, Dieselov motor	10	1,0	0,5
Formaldehid	HCHO	Kuhanje, izgaranje	5	5	5
Freon 12	CCl_2F_2	Uredaji za klimatizaciju	2000	1000	200
Klor	Cl_2	Ak. bat.; klorna svijeća		1,0	0,1
Metan	CH_4	Sanitarni tank	13 000	13 000	13 000
Ozon	O_3	El. filt., komutatori	1,0	0,1	0,02
Stibin	SbH_3 ,	Baterijski plinovi		0,05	0,01
Arzin	AsH_3				
Sumpor-dioksid	SO_2	Sanit. tank; baterijski plin	10	5,0	1,0
Triaril-fosfat		Kompresori; hidraulika		50	1,0
Ugljik-monoksid	CO	Metabolizam; Dieselovi strojevi; pušenje			
Ugljikovodici		Boje; dizelska goriva	200	200	25
		Izolacije; plastika			
Vodik	H_2	Bat. plin; generator O_2	0,1	0,1% vol.	0,1% vol.
Vodik u ak. jami	H_2		2...3%	2...3%	2...3%

Prema: Guide for the Classification of Manned Submersibles, American Bureau of Shipping, New York 1968.

jačini izvora tih tvari te o trajanju ronjenja podmornice. Dosad je identificirano ~200 štetnih tvari u zraku podmornice, a pretpostavlja se da ih može biti i mnogo više. Samo za manji dio tih tvari znade se kako djeluju na ljudski organizam kad im je u podmornici izložen duže vremena, pa su za te tvari propisane maksimalne dozvoljene koncentracije (v. tabl. 4). Najviše štetnih tvari nosioci su i mirisa koji su u podmornici poseban i vrlo važan oblik onečišćenja zraka. Naročito je opasan vodik koji se razvija iz akumulatorskih baterija jer već 4% vodika u zraku može izazvati razornu eksploziju.

Postupci pročišćivanja zraka zasnivaju se uglavnom na filtriranju zraka i na katalitičkoj oksidaciji štetnih tvari. Filtrarski su uređaji najčešće priključeni na centralni ventilacijski vod s ishodištem u kuhinji, sanitarnim čvorovima i strojarnici. Za filterske elemente upotrebljava se aktivni ugljen (za mirise, te srednje i teške ugljikovodike), elektrostatski ili apsolutni filtri (za finu prašinu), staklena vuna (za grubu prašinu) te taložnici (za kapljičaste aerosole).



Sl. 65. Eliminator vodika i ugljik-monoksida. 1 ventilator, 2 rotirajući izmjenjivač topline, 3 električni grijач, 4 katalizator, 5 hladnjak

Vodik, ugljik-monoksid i djelomično neki ugljikovodici odstranjuju se iz struje zraka katalitičkom oksidacijom do najvišeg stupnja oksidacije (do CO_2 i H_2O) u posebnom uređaju, tzv. eliminatoru vodika i ugljik-monoksida (sl. 65). Pred komorom s katalizatorom struja zraka zagrijava se i do 320°C , a na izlazu iz eliminatora ponovno se hlađi. Neki eliminatori vodika i ugljik-monoksida umjesto prisilne cirkulacije zraka iskorišćuju prirodnu konvekciju. U tim uređajima temperature su niže ($60\text{--}300^\circ\text{C}$), već prema koncentraciji vodika u zraku, ali je i djelotvornost oksidacije i kapacitet uređaja manji.

Preventivna zaštita zraka od onečišćenja. Materijali ugrađeni u podmornicu, osim konstrukcijskih i drugih svojstava, moraju zadovoljiti i antitoksične uvjete. Prema tim uvjetima materijali ne smiju otpuštati štetne plinove ili mirise, a pri požaru ne smiju razvijati štetne plinove u količinama koje bi mogle postati otrovne. Te uvjete moraju ispunjavati svi organski materijali, a posebno boje i lakovi, kabelski i drugi izolacijski materijali, plastika i sl.

Prijenom akumulatorskih baterija bez antimonskih legura, poboljšanjem miješanja elektrolita za vrijeme punjenja baterija i upotrebo elektrolita visoke čistoće smanjuje se razvijanje vodika i drugih baterijskih plinova. U podmornicu je zabranjeno ugrađivati ili unositi uređaje sa životom, a ako je to neizbjedno, mora se poduzeti sve da se spriječi isparavanje ili propisanje žive. Također je zabranjeno unositi u podmornicu materijale koji otpuštaju štetne plinove ili mirise, kao npr. paste ili otapala za čišćenje, sprejeve za deodoriranje i sl.

Otpaci i prljavo rublje spremaju se u posebne, hermetički zatvorene spremnike. Da bi se spremnik što manje puta otvarao, preporučuje se više manjih spremnika. Na podmornicama bez tankova za izbacivanje fekalija, urina i otpadnih voda

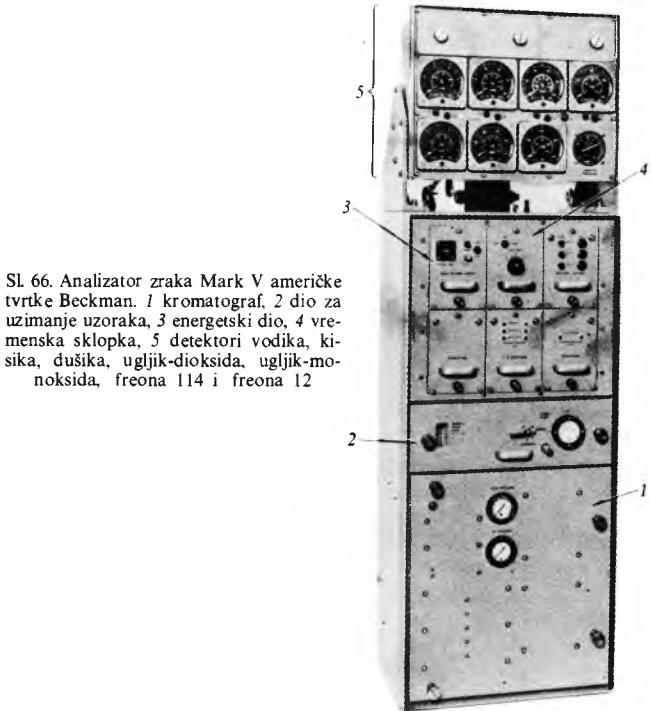
dodataju se u spremnike takvih otpadaka kemikalije koje sprečavaju raspadanje tih tvari. Veće podmornice imaju posebnu prešu za prešanje čvrstih otpadaka (limenki od konzervi i sl.) i tunel za izbacivanje otpadaka u more.

Kontrola zraka. Koncentracije kisika i ugljik-dioksida mjeru se analitičkim mjernim instrumentima. Mjeri se kontinuirano ili svakih 1–2 sata, već prema omjeru slobodnog volumena zraka i broja ljudi u podmornici, te o postupku regeneracije zraka. Što je omjer volumena zraka i broja ljudi manji, to mjerjenja moraju biti učestalija, pa i kontinuirana.

Koncentracija kisika najčešće se mjeri paramagnetskim i polarografskim detektorima. Sve se više upotrebljavaju i detektori s gorivom ciljem kao senzorom kisika. Reakcija kisika u senzoru stvara električni napon koji je proporcionalan koncentraciji kisika, a ujedno služi za pogon instrumenta. Ugljik-dioksid mjeri se uglavnom optičkim interferometrom ili infracrvenim spektroskopom.

Vodik u jamama akumulatorskih baterija mjeri se kontinuirano. Mjerni instrumenti analitičkog ili razinskog tipa moraju biti vrlo točni i osjetljivi na promjene koncentracije vodika. Kad se prekorači dozvoljena koncentracija, ili ako se instrument pokvari, on daje svjetlosne i zvučne alarne. U svaku akumulatorsku jamu postavljaju se najmanje po dva senzora (sonde), a pokazivači su izvan jama. Na principu toplinske vodljivosti vodika rade tzv. katarometri, a elektrokemijski detektori mjeru promjene električnog otpora katalizatora zbog egzotermnosti katalitičke oksidacije. Maksimalna dozvoljena koncentracija vodika u akumulatorskim jama ovisi o mjestu sonde i raspodjeli vodika u jami, i obično iznosi ~2%, a najviše 3%.

Od ostalih plinova u zraku u podmornici redovito se kontrolira samo ugljik-monoksid, dušik-monoksid, dušik-dioksid, ozon i freon, a drugi plinovi samo povremeno.

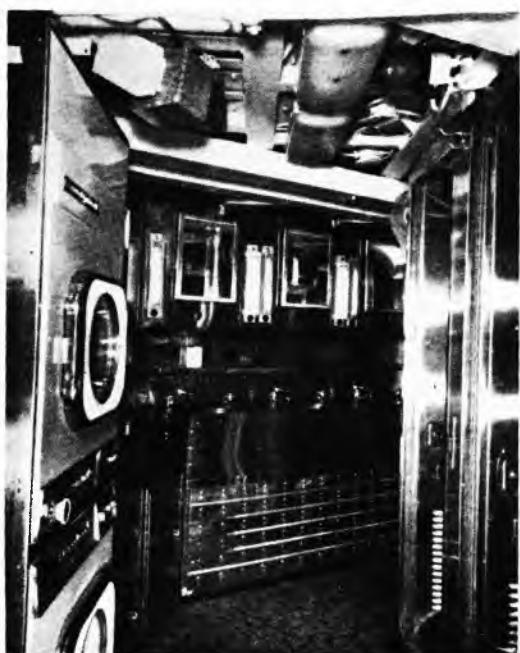


Sl. 66. Analizator zraka Mark V američke tvrtke Beckman. 1 kromatograf, 2 dio za uzimanje uzorka, 3 energetski dio, 4 vremenska sklopka, 5 detektori vodika, kisika, dušika, ugljik-dioksida, ugljik-monoksida, freona 114 i freona 12

U nuklearnim se podmornicama upotrebljavaju plinski kromatografi za razdvajanje plinske smjese zraka. Razdvojeni plinovi određuju se detektorima, uglavnom na osnovi toplinske vodljivosti plinova, plinskom ionizacijom i infracrvenom spektroskopijom. Svi su ti instrumenti smješteni u zajednički uređaj koji je jedinstveni analizator zraka (sl. 66).

Radni i boravišni uvjeti

Na psihofizičko stanje podmorničke posade mnogo utječu radni uvjeti na stalnim radnim mjestima i uvjeti boravka u prostorijama individualne i zajedničke namjene.



Sl. 67. Sanitarni čvor u nuklearnoj podmornici

Radna mjesta moraju biti dobro rasvijetljena, uređaji i instrumenti lako dostupni i pregledni, a sjedala udobna i anatomske pravilno oblikovana. Kuhinje i sanitarni čvorovi u posebnim su prostorijama s direktnim ventilacijskim sistemom (sl. 67). Oprema je najčešće od nerđajućeg čelika i od keramike. Blagovaonica u konvencionalnim podmornicama obično je u sklopu operativne prostorije, a u nuklearnim podmornicama to je zasebna prostorija koja služi i za odmor i rekreaciju posade. Spavaonice su u nuklearnim podmornicama u posebnim kabinama, a u konvencionalnim podmornicama i u kabinama i u slobodnim prostorima. Obično ima toliko kreveta da 2/3 posade može istodobno spavati, jer je 1/3 posade u vijek u službi. Međutim, sve više prevladava pravilo da svaki član posade ima svoj krevet.

Prehrana

U klasičnim podmornicama uglavnom se upotrebljava konzervirana hrana, a u nuklearnim podmornicama svježa hrana u smrznutom ili dehidriranom stanju. Konzervirana se hrana pakuje u kartonske kutije kao jedan obrok za nekoliko ljudi (tzv. podmornički obrok). Svježa se hrana čuva u hladnjacima i u vakuumiranim spremnicima.

Voda za piće čuva se u rezervoarima od nerđajućeg čelika ili običnog čelika zaštićenog od korozije da se sprječi njezino onečišćenje i promjena organoleptičkih svojstava vode. Voda za pranje čuva se u istim ili sličnim spremnicima da bi, kad je potrebno, mogla poslužiti i za piće. U nuklearnim i suvremenim konvencionalnim podmornicama, umjesto velikih rezervoara za vodu, ugrađuju se uređaji za dobivanje pitke vode desalinizacijom morske vode. Desalinizacija se provodi destilacijom, ionskim izmjenjivačima ili protuosmotskom filtracijom morske vode.

Zaštita od radijacije

U nuklearnim podmornicama postoji stalna zaštita od radijacije, a u konvencionalnim bi se provodila samo ako bi došlo do atomskog napada. Budući da je prostor u podmornici ograničen i zatvoren, zaštita je uglavnom pasivna, tj. mjeri se jačina radijacije u prostorijama podmornice i stupanj ozračenja posade. Radijacija se mjeri detektorima β -zračenja i γ -zračenja, za što služe instrumenti na principu Geiger-Müllerovog brojača smješteni na više mesta u svakom odsjeku podmornice. Svi instrumenti imaju zvučne i svjetlosne alarne (v. *Nuklearno zračenje*, TE 9, str. 558). Stupanj ozračenja posade kontrolira se osobnim dozimetrima u obliku naliv-pera i filmskom znač-

kom. Dozimetrom u obliku naliv-pera mjeri se γ -zračenje na principu ionizirajuće komore, a ostala se zračenja procjenjuju filmskom značkom prema intenzitetu zacrnjenja filma. Dopuštena ekvivalentna energetska doza zračenja za čovjeka u toku jedne godine iznosi 0,05 siverta (5 rem). Nuklearne podmornice imaju posebnu prostoriju za radiološko-kemijska ispitivanja.

Radovi u reaktorskim prostorijama, gdje postoji mogućnost povišene radijacije, obavljaju se u specijalnoj zaštitnoj odjeći. Pri prolazu kroz kontaminirano područje nakon atomske eksplozije, konvencionalna podmornica za vrijeme površinske ili šnorhel vožnje usisava zrak preko ABH filtra.

B. Žurić

GRADNJA PODMORNICE

Podmornica spada među najsloženije tehničke konstrukcije. Projektiranje i gradnja prototipne podmornice traje 6–10 godina. Da bi se ubrzala gradnja podmornice, potrebno je funkcionalno planiranje, dobra organizacija svih poslova, unifikacija naoružanja i ostale podmorničke opreme. Tako je npr. gradnja prve raketne podmornice *G. Washington*, već prema razrađenom projektu podmornice *Skipjack*, trajala samo 25 mjeseci, ali uz sudjelovanje mnogih kooperantskih poduzeća.

J. Zaninović

Propisi za gradnju podmornica. Ratne mornarice imaju svoje propise za gradnju vojnih podmornica. Ti su propisi vojna tajna i nisu pristupačni javnosti jer su dostignuća zatvorenih projektantskih i razvojnih ustanova pojedinih ratnih mornarica.

Tokom zadnjih dvadesetak godina brzo su se razvijala različita podvodna vozila s ljudskom posadom, namijenjena za komercijalne i znanstvene svrhe. To je potaklo veće klasificacijske ustanove da izdaju svoja pravila za gradnju, opremanje i ispitivanje podvodnih plovila, uglavnom ronilica s ljudskom posadom. Prve propise iz te oblasti objavio je u SAD 1968. godine Američki ured za brodarstvo (*American Bureau of Shipping*). Britanska ustanova *Lloyd's Register of Shipping* izdala je 1973. svoje propise za gradnju podvodnih plovila koja ne služe u vojne svrhe, a francuski *Bureau Veritas* 1980. godine.

B. Ryšlavy

Faze programa gradnje podmornice

Program gradnje podmornice ima više faza: razvoj, projektiranje, gradnja i ispitivanje.

Nosilac razvoja u fazi idejnog rješavanja projekta, teorijskih proračuna i ispitivanja modela obično su ustanove ratne mornarice, koje više ili manje sudjeluju tokom čitave gradnje podmornice i završnih ispitivanja. Tehničku dokumentaciju priprema posebna projektna organizacija ili brodogradilište koje je inače glavni nosilac i koordinator gradnje podmornice. Kad se gradnja završi, brodogradilište obavlja interno ispitivanje podmornice, bilo samostalno, bilo uz pomoć stručnjaka i organizacije ratne mornarice.

U razvoju i izradbi najraznovrsnije opreme sudjeluje mnogo privrednih organizacija i znanstvenih institucija iz zemlje, a dio opreme se uvozi. Danas su u svijetu samo SAD, SSSR i Francuska potpuno samostalni u gradnji svih vrsta i klasa podmornica.

Brodogradevni radovi. Na osnovi tehničkih zahtjeva projektanta, te svjetskih i vlastitih iskustava, brodogradilište razrađuje tehnologiju gradnje podmornice. Ta razradba obuhvaća tehnologiju izrade čvrstog trupa i tehnologiju montaže strojeva, energetskih postrojenja, različitih podmorničkih sistema, montažu kabela itd.

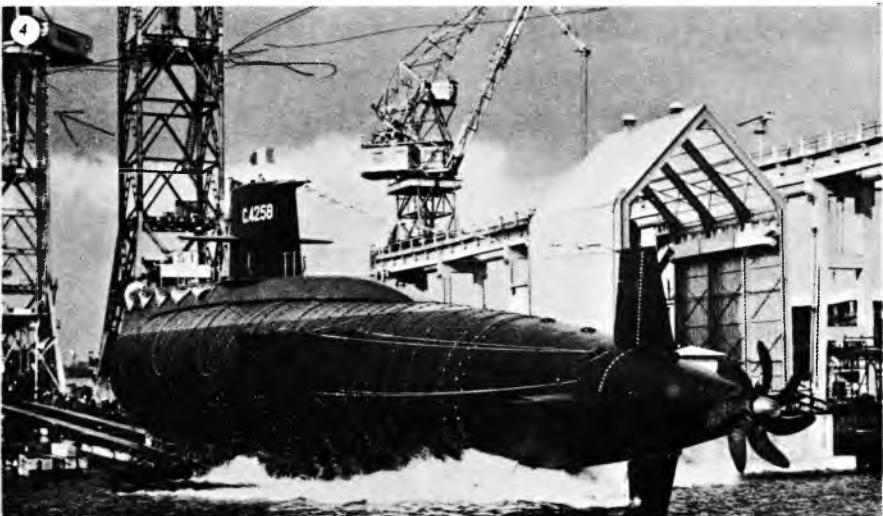
Gradnja čvrstog trupa. Izrada čvrstog trupa sadrži: pripremu limova i ostalih elemenata koji se zavarivanjem spajaju u prstenaste sekcije, umetanje i zavarivanje rebara, spajanje prstenastih sekcija u blok-sekcije, te spajanje blok-sekcija u čvrsti trup (sl. 68).

Prstenaste sekcije, teške 40–100 t, izrađuju se upete u posebnim koljevkama da bi se dobio oblik koji točno odgovara projektu (sl. 69). Preostala naprezanja konstrukcije nastoje se smanjiti pogodnim redoslijedom zavarivanja elemenata sekcije,

a, osim toga, neki se dijelovi konstrukcije trupa (svodovi čvrstih tankova, čela trupa, dijelovi s različitim debljinama limova itd.) nakon zavarivanja termički obrađuju da se uklone preostala unutrašnja naprezanja.

naprezanja veća od računskih, u trup se ugrađuju dopunski elementi.

Čvrsti trup suvremenih podmornica izrađuje se od kvalitetnih čelika velike čvrstoće, obično CrNiMo čelika. Tehnologija



Sl. 68. Faze gradnje talijanske podmornice Sauro od 1456 t nadvodne i 1631 t podvodne istisnine (1976–78. god.). 1 izrada jednog od prstenova čvrstog trupa, 2 izrada krmene dijelova lakog trupa, 3 izrada sferičnog čela čvrstog trupa s prolazima za torpedne cijevi, 4 porinuće podmornice

Kad se završi gradnja čvrstog trupa, a prije nego što započne montaža opreme, ispituje se čvrstoća konstrukcije trupa tlačenjem u velikoj tlačnoj komori ili pomoću unutrašnjeg vodenog tlaka. Konstrukcija čvrstog trupa tlači se postepeno i pri tom se izmjerena naprezanja ili deformacije usporeduju s računskim vrijednostima. Ako su na nekim mjestima izmjerena

zavarivanja takvih čelika vrlo je složena i sve pripreme i varilački radovi moraju se obaviti vrlo pažljivo, pridržavajući se točno propisanih postupaka. Da se izbjegnu unutrašnje mikropukotine u varovima, zavaruje se na toplo, tj. područje spajanja zagrijava se na temperaturu od 150–200 °C, jer se tada nakon zavarivanja spojevi hlađe postepeno.

Montaža opreme. Obično se u trup podmornice na navozu montira 80–100% opreme. Ako se gradi serija jednakih podmornica, može se dio opreme montirati već u pojedine blok-sekcije. Svi uređaji, strojevi, mehanizmi i sistemi prije montaže u podmornicu ispituju se kod proizvođača ili u ispitnoj stanici brodogradilišta.

Redoslijed i način unošenja i montiranja opreme unaprijed je tehnološki i vremenski razrađen da bi se ti radovi obavili što racionalnije i da se osjetljivi dijelovi opreme, npr. akumulatorske baterije, mogu tokom i nakon montaže normalno održavati.

Krupna se oprema unosi kroz otvor ostavljen na čvrstom trupu. Taj se otvor može nalaziti na gornjoj strani trupa ili na krmnom završetku, a kad je sva krupna oprema unesena, otvor se zatvori zavarivanjem ili pomoću prirubnica s vijcima. U nuklearnim se podmornicama reaktor i biočki štit obično postavljaju zajedno s gradnjom pripadne sekcijske čvrstog trupa.

Nadzor i kontrola gradnje. Gradnja podmornice stalno se nadzire radi provjere kvalitete izrade i montaže. Propisani su način kontrole, dozvoljena odstupanja od zadanih mjera i službeni dokumenti koji se ispunjavaju u međufaznoj i završnoj kontroli. Opseg kontrole i dozvoljene tolerancije veoma se razlikuju od propisa klasifikacijskih ustanova koji važe za gradnju komercijalnih podvodnih plovila.

Proces kontrole započinje pri prijemu materijala i opreme kod proizvođača. Tokom gradnje u brodogradilištu se kontrolira točnost izvedbe elemenata trupa, detalja i sklopova strojeva,



Sl. 69. Izrada prstenaste sekcije manje podmornice uz elektrotoporno zagrijavanje područja spojeva i daljinsko mjerjenje temperature

uređaja, mehanizama i sistema, kontrolira težina, čvrstoća i nepropusnost čvrstog trupa, montaža i funkcionalnost cijelokupne opreme.

Posebno se kontroliraju zavareni spojevi na čvrstom trupu. Šavovi sekcija i donji spojevi, gdje je to moguće, imaju u nastavku produžne ploče na kojima se provjeravaju mehaničke karakteristike zavarenog spoja.

Kontrolom se utvrđuje i geometrijska točnost izradbe, posebno kružnost rebara i oplate, poprečnog presjeka čvrstog trupa, osi torpednih cijevi i različitih otvora za prolaz dijelova i mehanizama.

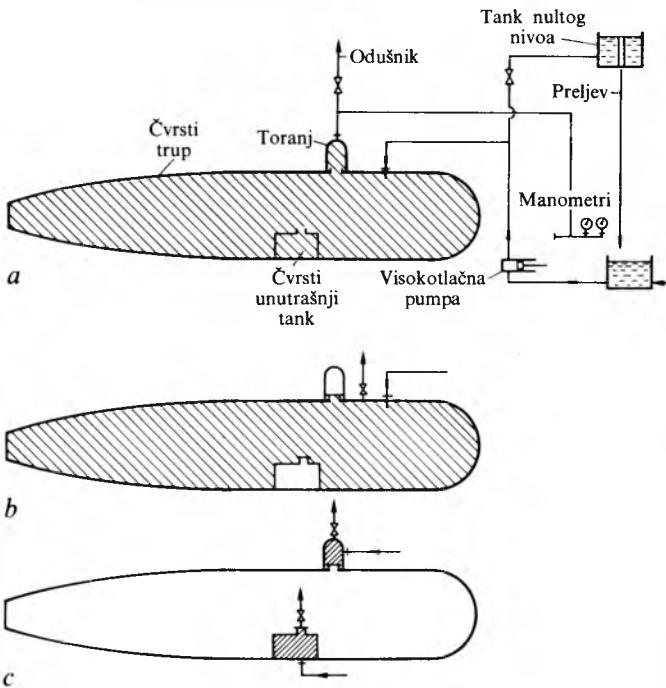
J. Zaninović

Ispitivanja podmornice

Ispitivanja tokom gradnje. Za vrijeme gradnje podmornice provjerava se kvaliteta materijala za konstrukciju čvrstog trupa i kvaliteta svih varova. Zavareni spojevi ispituju se metodama bez razaranja, a samo spojevi ispitno-produžnih ploča ispituju se razaranjem.

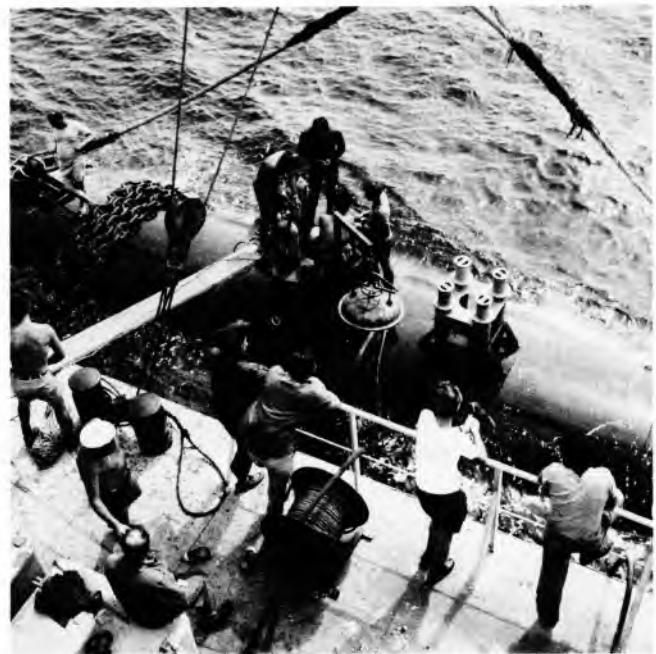
Geometrijski oblik sekcija provjerava se međusaznom kontrolom točnosti kružnog presjeka sekcija i sferičnog oblika čela. Pri tom se kontrolira oblik i položaj rebara prema oplati čvrstog trupa, te svi šavovi i stikovi s obzirom na smaknutost i kut pod kojim se spajaju susjedni limovi. Geometrijska kontrola obuhvaća i položaj lansirnih cijevi, osovinskog voda, periskopa, antene radara itd., te njihovu koaksijalnost s pripadnim osima. Nadalje, provjeravaju se mehanička svojstva svih dijelova koji su nakon izradbe termički obrađeni.

Kad je čvrsti trup potpuno dovršen i zatvoren, ispituje se čvrstoća konstrukcije trupa pomoću tlačenja unutrašnjim vodenim tlakom koji je jednak tlaku stupca vode na graničnoj



Sl. 70. Ispitivanje čvrstoće čvrstog trupa pomoću unutrašnjeg vodenog tlaka.
a tlačenje cijelog trupa, b tlačenje trupa bez tornja i unutrašnjih čvrstih tankova,
c tlačenje tornja i unutrašnjih čvrstih tankova

dubini ronjenja, odnosno taj se tlak još povećava za 10-15% (sl. 70). Drugi, bolji način ispitivanja jest da se čvrsti trup tlači vanjskim tlakom u posebnoj tlačnoj komori (sl. 71) ako brodogradilište ima takvu komoru. Treći je način ispitivanja tlakom, primjenljiv samo na prototip, da se cijeli čvrsti trup ili njegovi važniji dijelovi dizalicom spuste u more na graničnu dubinu ronjenja (sl. 72). Tokom svih tih ispitivanja na odabranim mjestima čvrstog trupa mjeri se deformacije posebnim instrumentima ili naprezanja tenzometarskim trakama. Za vrijeme ispitivanja vanjskim tlakom u trupu nema ljudi, a mjenjenja se obavljaju daljinski.

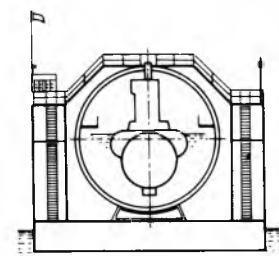
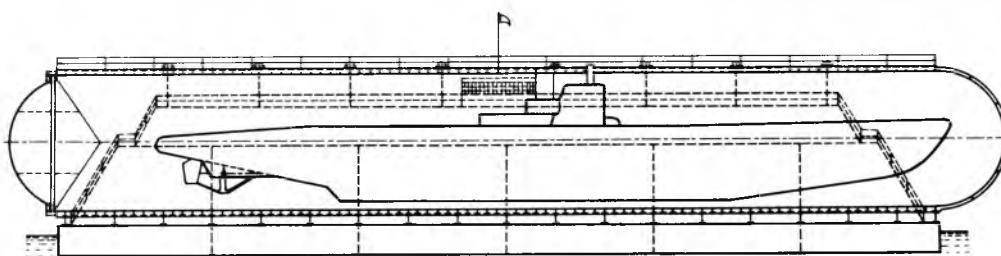


Sl. 72. Spuštanje čvrstog trupa podmornice na ispitnu dubinu

Zatim se u brodogradilištu ispituju na granični tlak svi čvrsti tankovi, tornji, izlazne komore i ostali tankovi, sistemi i uređaji. Prije porinuća u podmornici se proizvede podtlak da se provjeri njena hermetičnost. Svi sistemi i uređaji koji kao medij u cijevima, rashladnicama i tankovima imaju morsku vodu ispituju se u vezu nakon porinuća.

Primopredajna ispitivanja. Prilikom preuzimanja podmornice utvrđuje se da li je ona izgrađena prema uvjetima ugovora i tehničke dokumentacije, te da li su postignuti ugovoreni tehnički parametri (brzina, dubina ronjenja itd.). Ta se ispitivanja provode nizom površinskih, a zatim podvodnih vožnji.

Prvo zaronjivanje je tzv. *statičko zaronjivanje*, kad podmornica na manjoj dubini sjedne na dno. Za vrijeme tog pokusa porivni motori miruju, a provjerava se u prvom redu nepropusnost čvrstog trupa, uravnoteženost podmornice te rad sistema za ronjenje (plavnici, odušnici) i za spasavanje. Zatim slijede podvodni pokusi nagiba i dinamička ronjenja postupno sve do granične dubine (samo s prototipom) i najveće moguće brzine, te slijepa lansiranja torpeda. Propulzija i upravljivost podmornice provjeravaju se najbolje na posebnom poligonu gdje se mjeri i snima podvodna brzina i putanja podmornice u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini.



Sl. 71. Tlačni dok za ispitivanje čvrstoće cijele podmornice pomoću vanjskog tlaka

Prototipna ispitivanja. Tim se ispitivanjima provjerava da li prototip ima zahtijevana svojstva (npr. skrivenost, autonomiju, udarnu moć itd.). Tim vrlo složenim ispitivanjima dobivaju se detaljni taktičko-tehnički podaci koji ulaze u eksploatacijsku dokumentaciju podmornice. Za projektante su rezultati prototipnih ispitivanja izvor informacija koje služe za eventualne izmjene projekta i razvoj novih uređaja, sistema i konstrukcija. Prototip se ispituje u suradnji s ostalim jedinicama flote u različitim taktičkim uvjetima i situacijama, uključujući i bojeva gađanja ciljeva.

B. Ryšlavy

SPASAVANJE PODMORNICA I PODMORNIČARA

U prošlosti se spasavanje nastrandalih podmornica i njihovih posada ograničavalo na nesreće u plitkom moru do dubina od 40 m, jer je to bila granica čovjekovih ronilačkih mogućnosti, a to su ujedno dubine do kojih još dopire dnevno svjetlo i koje su bile dostupne tadašnjim spasilačkim napravama s površine. Zahvaljujući općem razvoju podmorničarstva, ronilaštva i podvodne opreme, nakon drugoga svjetskog rata omogućeno je spasavanje podmornica i podmorničara i s većih dubina. Spasavanje s većih dubina, međutim, još je uvijek vrlo neizvjesno i skupo te zahtijeva složen vanjski spasilački sistem i specijalne brodove (sl. 73).

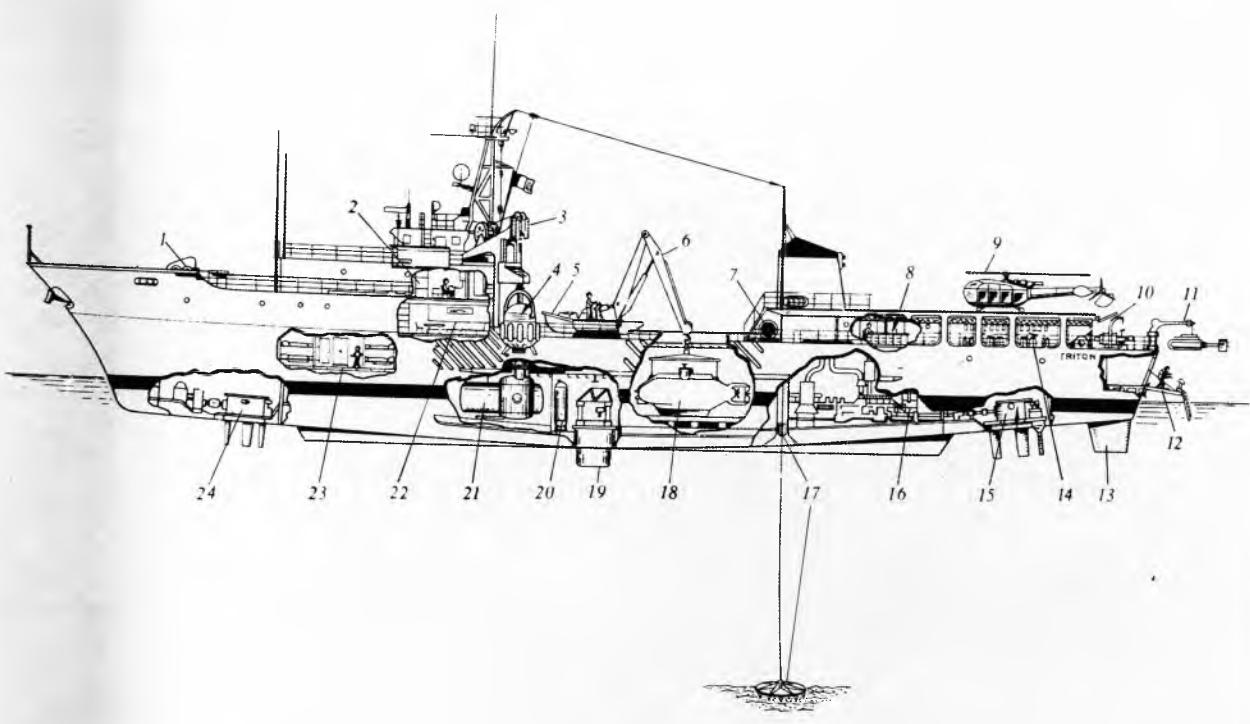
mornice i spašavanje mora biti kraće od vremena koje posada može izdržati u potopljenoj podmornici.

Uvijek se nastoji podignuti s morskog dna i nastrandala podmornica. Naime, zbog sigurnosti moraju se izvaditi rakete i torpeda, pogotovo ako imaju nuklearne glave, zatim treba spašiti neoštećene dijelove opreme i uređaja te ustanoviti uzrok podmorničke nesreće.

U našem stoljeću, računajući samo mirnodopske nesreće, potonula je 101 podmornica sa 3175 ljudi, od kojih je spašeno 730 članova posade. Većina se nesreća desila zbog sudara s površinskim brodovima, a ostali su uzroci bili: tehnički i konstrukcijski nedostaci, pogrešno upravljanje i različite neispravnosti na prvim podmornicama. Nakon drugoga svjetskog rata potonulo je 18 podmornica, i to: 5 zbog sudara, 3 zbog konstrukcijskih grešaka, 3 zbog eksplozije i 7 iz nepoznatih razloga. Poginulo je 778, a spašeno je 246 ljudi. U proteklih 10 godina potonulo je i 6 ronilica, pa, iako su sve spašene, od 16 članova posada poginulo je 5 ljudi.

Podmornička oprema i uređaji za spasavanje. Svaka je podmornica tako građena i opremljena da se u oštećenoj i potopljenoj podmornici može neko vrijeme održavati život posade, te da posada može pomoći osobnih spasilačkih sredstava napustiti podmornicu i izroniti na površinu mora (sl. 74).

Nepropusne pregrade i prolazi s nepropusnim poklopциma sprečavaju da se prodor vode proširi u neoštećene prostore podmornice. Za održavanje života posade u potopljenoj podmornici služe posebni sistemi za dobavu kisika za disanje,



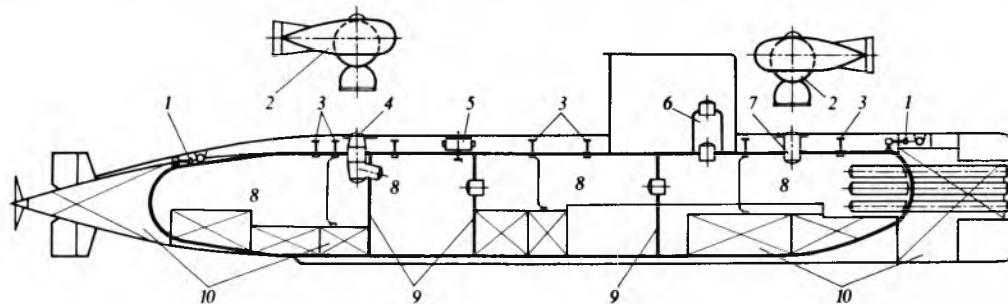
Sl. 73. Spasilački brod francuske ratne mornarice Triton istisnine 1500 t. 1 sidreno vitlo, 2 spasilački operacijski centar, 3 dizalica ronilačke komore, 4 ronilačka komora, 5 čamac, 6 dizalica ronilice, 7 plutače za označivanje položaja, 8 prostor za roniocie i ronilačku opremu, 9 helikopter, 10 pritezno vitlo, 11 tegljeni sonar, 12 ronilačka platforma, 13 kormilo, 14 spremnici komprimiranog zraka, 15 krmeni Voigt-Schneiderov propulzor, 16 pogonsko postrojenje, 17 uređaj za dinamičko sidrenje, 18 spasilačka ronilica, 19 aktivni i pasivni hidroakustički uredaj za pretraživanje, 20 spremnici mješavine za disanje, 21 dekompresiona komora, 22 prostorije posade i putnika, 23 bolnički odjel, 24 pramčani Voigt-Schneiderov propulzor

Kad se dogodi podmornička nesreća, najprije se nastoji spašiti posada. Ako se nesreća dogodila na relativno maloj dubini, posada može izići iz oštećene podmornice na površinu mora pomoću spasilačke opreme kojom je opremljena podmornica, naravno uz pretpostavku da to dozvoljavaju položaj i oštećenje podmornice. Ako se oštećena podmornica nalazi na tako velikoj dubini ili je u takvu stanju da se ne mogu upotrijebiti vlastita spasilačka sredstva, posada se spašava uz pomoć vanjskoga spasilačkog sistema. Tada ukupno vrijeme potrebno za pripremu vanjskoga spasilačkog sistema, za pronaalaženje potonule pod-

zaštitna topla odjeća i tzv. neprikosnovene rezerve hrane i pitke vode. Za spašavanje posade iz potopljene podmornice postoje individualni spasilački aparati, spasilački prolazi na trupu, komore s podvodnim izlazima, brzonaplavljive komore itd. Pri nesreći podmornica ispušta plutaču s telefonskom i radio-vezom da pluta iznad mesta nesreće. Preko plutače upućuju se radio-pozivi za pomoć, a vanjskim spasiocima plutača označuje položaj potopljene podmornice. Da bi vanjski spasioci mogli podignuti podmornicu na površinu, u čvrstrom su trupu ugrađena oka ili trnovi o koje se zakvače užeta za dizanje.

PODMORNICA

Prilikom nesreće, životni se uvjeti u podmornici naglo kvarе zbog prodora vode, požara ili razvijanja otrovnih plinova, pa se višestjedna autonomija zaronjene podmornice skraćuje na par dana ili svega nekoliko sati. U potonuloj je podmornici većinom uzrok smrti trovanje ugljik-dioksidom ili pothlađivanje ljudskog organizma. Nepričekana rezerva pitke vode i hrane za slučaj nesreće čuva se u posebnim spremnicima, raspoređenima po odsjecima podmornice, pa nedostatak vode i hrane praktički nikad nije uzrok smrti.



Sl. 74. Spasilačka oprema suvremene podmornice. 1 trn za dizanje podmornice, 2 spasilačka ronilica, 3 ventil za ventiliranje podmornice i pirenje balastnih tankova, 4 komora za brzo izlazeњe, 5 plutača za označavanje i vezu, 6 toranj, 7 spasilački prolaz, 8 lična spasilačka oprema, 9 čvrste nepropusne pregrade, 10 balastni tankovi

Podmornički sistem za pročišćivanje zraka dobro funkcioniра samo u normalnim uvjetima tlaka, temperature i vlažnosti unutar podmornice. Prilikom nesreće poremete se ti normalni uvjeti, pa se zrak za disanje počne opasno kvariti. Najčešći je razlog kvarenja zraka porast tlaka unutar podmornice, uzrokovani prudrom vode i eventualnim razvijanjem otrovnih plinova zbog požara ili zbog miješanja vode sa sumpornom kiselinom u akumulatorskim člancima.

Tlok unutar odsjeka podmornice u koji je prodrla voda izjednačuje se s vanjskim tlakom u moru. Udisanjem zraka pod tlakom na dubini mora od 40 m nastaje trovanje kisikom nakon 30 sati, na dubini od 70 m nakon 8 sati, a na dubini od 100 m već nakon pola sata. Zbog toga su mnoge podmornice opremljene sistemom za dobavu mješavine kisika i helija (*Built in Breathing System, BIBS*), koji se sastoji od spremnika s komprimiranim mješavinom, razvodnih cjevovoda u svim odsjecima podmornice i usnih respiratora u blizini radnih mesta. Dizanje mješavine štiti čovjeka od otrovnog okoliša, a ujedno višestruko povećava vrijeme boravka pod povišenim tlakom, jer se sadržaj kisika podešava prema dubini.

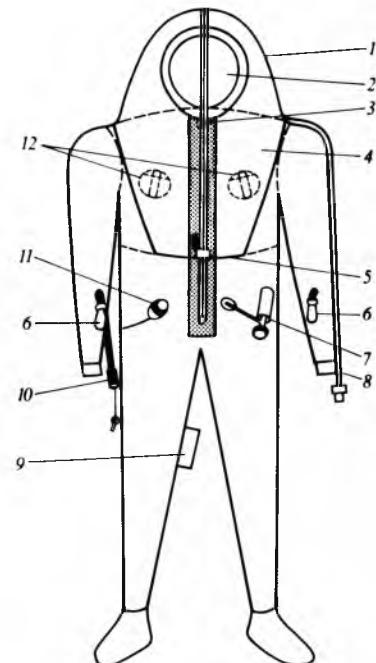
Temperatura zraka u potopljenoj podmornici s vremenom pada i izjednačuje se s temperaturom morske vode, a, budući da istodobno raste relativna vlažnost, toplojni gubici organizma sve su veći. Ako je voda prodrla u podmornicu, tada se vrijeme pothlađivanja veoma skraćuje; npr. u vodi temperature od 15 °C organizam može izdržati ~3 sata. Zbog toga se u osobnoj spasilačkoj opremi nalazi topla odjeća i zaštitno odijelo koje više od 12 sati štiti čovjeka od hladnoće.

Najstariji je način spasavanja podmorničara da se određeni prostor djelomično naplavi, pa da ljudi izadu iz podmornice kroz otvor za spasavanje i pomoću osobnih spasilačkih aparata izrone na površinu. Suvremene podmornice imaju posebne komore za podvodni izlaz, što omogućuje brzo spasavanje ljudstva u relativno povoljnim uvjetima i pri velikim nagibima podmornice.

Prve prave spasilačke aparate (*Davis Submerged Escape Apparatus*) razvila je britanska ratna mornarica 1924. godine i ubrzo su slične aparate prihvatile sve mornarice. Za dizanje je služio kisik, ali se ubrzo prešlo na mješavinu kisika i dušika, što je povećalo dubinu spasavanja od 15 na 45 m. Spasavanje s većih dubina nije bilo moguće sve do drugoga svjetskog rata kad je ratna mornarica SAD uvela komoru za brzo naplavljivanje i *Steinkeovu kapuljaču*, pa je spasavanje postalo moguće do dubina od 200 m, ali uz uvjet da zadržavanje pod povišenim tlakom ne bude duže od 30 sekunda.

Poboljšani tip Steinkeove kapuljače s prslukom ili odijelom (*British Mark VII Submarine Escape Suit*, sl. 75) upotrebljava se i danas na podmornicama SAD, Velike Britanije i njihovih saveznika, mada su uvjeti primjene dosta ograničeni. Naime, na velikim podmornicama s brojnim ljudstvom spasavanje je po-

moću tog aparata sporo, prostor u kome se čeka na izlaz mora biti pod normalnim tlakom, potrebne su dovoljne zalihe zraka itd. Zato neke mornarice imaju opremu za samostalno spasavanje, koja se sastoji od aparata sa zatvorenim krugom disanja, nepropusnog odijela s maskom, cipelama i rukavicama. Takav je npr. sovjetski aparat IDA-59 (rus. ИДА-59, индивидуальный давительный аппарат) s mješavinom kisika i helija, koji omogućuje spasavanje s dubine od najviše 110 m, ali zato za sve ljudstvo iz jednog odsjeka jednovremeno.



Sl. 75. Britansko spasilačko odijelo Mark VII. 1 vanjska i unutrašnja kapuljača, 2 prozor kapuljače, 3 patentni zatvarač, 4 uzgonski prsluk, 5 otvor za odvijaće kapuljače, 6 odušnik, 7 boca ugljik-dioksida za napuhavanje odijela, 8 priključak za zrak, 9 džep za spasilačke potrepštine, 10 pipac za napuhavanje odijela, 11 svjetiljka, 12 odvijaći unutar kapuljače

Vanjski spasilački sistem. Za vrijeme rata podmornica je najčešće prepustena sama sebi, pa ako bude potopljena, posada se pokušava spasiti spasilačkom opremom podmornice. Za vrijeme mira u svim spasavanjima nastrandalih podmornica sudjeluje vanjski spasilački sistem, bez obzira gdje je i na kojoj dubini potonula podmornica.

Okosnica je vanjskog spasilačkog sistema specijalni brod za spasavanje, opremljen uređajima za pretraživanje akvatorija i pronalaženje potopljene podmornice, opremom za sidrenje na velikim dubinama, uređajima za vezu i navigacijsko održavanje pozicije, opremom za duboko ronjenje, uređajima za podršku i održavanje životnih uvjeta u potonuloj podmornici, opremom za spasavanje ljudi i dizanje podmornice, te opremom i alatima za podvodne rade. Spasilački brod je redovito dovoljno velik i opremljen da može raditi i u najtežim vremenskim uvjetima, prihvatići spašeno ljudstvo i pružiti im potrebnu liječničku pomoć i njegu.

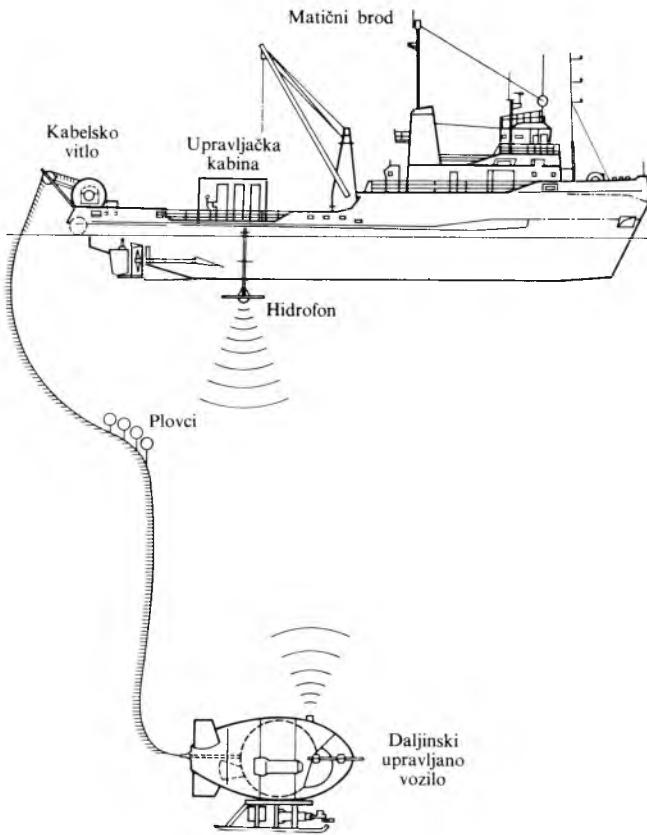
U vanjski sistem spasavanja uključeni su i ostali brodovi ratne mornarice, snažne plovne dizalice, tegljači, avioni, helikopteri i obalne radio-stанице.

Cjelokupni proces spasavanja ima sljedeće faze: pronalaženje potonule podmornice, utvrđivanje položaja potonule podmornice i uspostavljanje kontakta s preživjelim članovima posade,

spasavanje posade i dizanje podmornice na površinu, te zbrinjanje spašenog ljudstva i prijevoz oštećene podmornice u bazu.

Za uspjeh spasilačke akcije presudno je da se što prije pronađe mjesto na kojemu je potonula podmornica. Oštećena podmornica ponekad nije u stanju da obilježi svoju poziciju radio-telefonskom plutačom ili hidroakustičkim signalima, pa se tada akvatorij pretražuje prema površinskim znacima, kao što su mrlje goriva, mjeđurići zraka, plutajući dijelovi i sl., i pomoću širokopojasnog aktivnog sonara velikog dometa, pasivnog sonara i magnetometra. Moguće pozicije detaljno se istražuju uskopojasnim aktivnim sonarom s vizuelnim pokazivačem, filmskim i televizijskim kamerama.

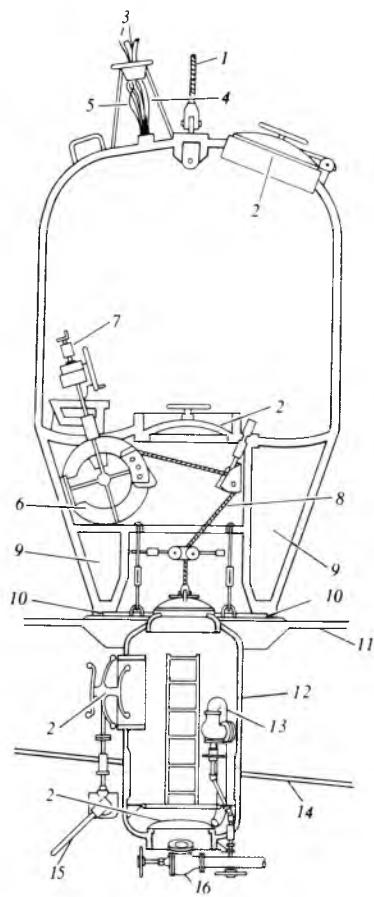
Kad se pronađe mjesto nesreće, treba ustanoviti položaj i oštećenje podmornice, te uspostaviti vezu s posadom. To obavljaju ronilačke ekipe, a upotrebljavaju se i automatizirana vozila za podvodno snimanje (sl. 76) i spasilačke ronilice. Slaba vidljivost uvelike otežava pripremu spasavanja i precizno ispitivanje potopljene podmornice. U bistrom moru optički dometi ne premašuju 15–20 m, a najčešće je vidljivost manja od 5 m. Zato se radi na usavršavanju uredaja za dobivanje akustičkih slika i laserskog optičkog uređaja, kojim se dobivaju dobre slike i na većoj udaljenosti od 10 m i u potpuno mutnoj vodi.



Sl. 76. Pretraživanje morskog dna pomoću daljinski upravljanog vozila

Najprije se spasava posada, bilo opremom s kojom raspolaže podmornica, bilo vanjskom opremom spasavanja. Prva vanjska oprema za grupno spasavanje podmorničara bilo je tzv. *McCanneovo zvono* (sl. 77), koje je 1939. godine sagrađeno u SAD, a još se i danas upotrebljavaju različite varijante toga zvona. McCanneovo zvono spusti se čeličnim užetom s broda na podmornicu i pomoću ronioca postavi na izlaz za spasavanje. Kad se ispiri donji prostor zvona, tlak vode čvrsto priljubi zvono uz dosjednu prirubnicu izlaza, pa posada podmornice može otvoriti poklopac izlaza i ući u zvono.

Spasilačke komore na principu McCanneova zvona imaju prednost da se mogu primijeniti na svim dubinama ronjenja podmornice, spašena posada u komori je zaštićena, pa se mogu spasavati i ranjenici. Nedostatak je što je priprema dugotrajna i složena, što u komori ima mjesta za malo ljudi, pa spasavanje

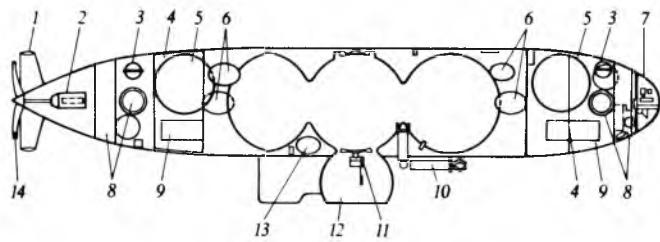


Sl. 77. McCanneovo zvono. 1 noseće uže, 2 nepropusni poklopac, 3 kabel za vezu i napajanje energijom, 4 dovod komprimiranog zraka, 5 odvod komprimiranog zraka, 6 pritezno vito, 7 zračni motor priteznega vitiela, 8 uže za pritezanje zvona, 9 balastni tank, 10 dosjedna prirubnica zvona, 11 laki trup podmornice, 12 komora za brzo izlaženje, 13 ventil za naplavljivanje komore, 14 čvrsti trup podmornice, 15 mehanizam za otvaranje nepropusnog poklopcia, 16 ventil za drenažu komore

cjelokupne posade dugo traje, a, osim toga, takva se komora ne može spojiti s podmornicom u jakoj morskoj struji ili ako je podmornica jače nagnuta. Zato su u posljednje vrijeme konstruirane spasilačke ronilice (sl. 78), koje ne samo što nemaju navedene nedostatke spasilačkih komora nego služe i za pronaalaženje potopljene podmornice, za uspostavljanje kontakta s preživjelom posadom itd.

Grupno spasavanje posade moguće je i dizanjem cijele podmornice, ali to je vrlo složena i dugotrajna operacija, pa se primjenjuje samo u povoljnim hidrometeorološkim uvjetima i kad se radi o manjoj podmornici ili ronilici.

Kad je posada već spašena, ili ako nema preživjelih, vadi se nastrandala podmornica. Potopljena podmornica najčešće leži



Sl. 78. Shema američke spasilačke podmornice DSRV (Deep Submarine Rescue Vehicle) izgrađene 1971. god. Duljina 15 m, istispina 35 t, brzina 5 čvorova, granična dubina ronjenja 1500 m, autonomnost 36 sati, kapacitet spasavanja 24 osobe. 1 prstenasto kormilo, 2 glavni porivni motor, 3 trim-tank, 4 balastni tank, 5 nadomjesni tank, 6 regler-tank, 7 sonar, 8 manevarski bočni i vertikalni propeleri, 9 akumulatorska baterija, 10 mehanička ruka, 11 pritezno vito, 12 priključeno zvono, 13 tank žive, 14 propeler

zabijena u mulj i u nepovoljnem položaju. Zato se prije dizanja moraju obaviti različiti podvodni radovi pomoću podvodnih alata za autogeno rezanje, zavarivanje, bušenje, piljenje, brušenje, glodanje itd., te pomoću različitih naprava s eksplozivom, uređajima za podvodno cementiranje i sl. Te radove obavljaju ronioci do dubine od 150 ili nešto više metara. Za rad na većim dubinama upotrebljavaju se spasilačke ronilice opremljene mehaničkim rukama s hvataljkama i podvodnim alatima. Umjesto ronilica mogu se upotrijebiti podvodna vozila s daljinskim upravljanjem, ali samo za neke jednostavnije radove.

Podmornica se diže pomoću cilindara koji prazni imaju silu uzgona od nekoliko stotina tona. Najprije se pirenjem pojedinih tankova ili neoštećenih prostora što više olakša podmornica. Zatim se cilindri napunjeni vodom potope na određenu dubinu i povežu s podmornicom, pa se zrakom istisne voda iz cilindara i tako proizvede sila uzgona. Operacija se ponavlja nekoliko puta dok se podmornica ne izvuče na površinu i osigura za tegljenje.

Manje se podmornice i ronilice najčešće dižu snažnim vitlima preko velikih pramčanih kolotura na brodu za spasavanje. Takva vitla mogu podići teret od 100–150 t. Dijelovi ili plovila lakša od 20 t dižu se brodskim dizalicama.

Uredaj za dizanje podmornice bez upotrebe ronioca patentirao je naš podmorničar i ronilac Jerko Tanfara. Potopljena podmornica ispušta plutač užetom za vođenje po kome se s površine spusti patentni škopac s jakim čeličnim užetom za dizanje podmornice. Škopac zahvati trn na trupu podmornice, pa se plovnom dizalicom ili cilindrima za dizanje podmornica može podići i s dubine nedostupne roniocima. Drugi patent, tzv. hidrauličko vitlo, veliki je cilindar koji rotira oko svoje osi pomoću ugrađenih preljevnih tankova s vodom i na sebe namata uže za dizanje. U SAD je sagrađen specijalni brod kojemu se središnji dio može spuštati kao dok i otvarati slično grabilicama. Pomoću tog broda Amerikanci su 1978. godine izvadili dio sovjetske podmornice koja je bila potonula u dubinu od 3000 m u blizini Havajskih otoka.

Za dizanje manjih tereta služe tzv. podvodni baloni ili padobrani, zapravo vreće od fleksibilnog materijala, koji se spuštaju složeni, a kad se zakvače za teret, ispunе se zrakom, pa se tako dobije potrebna sila uzgona.

Posljednja faza spašavanja obuhvaća zbrinjavanje spašene posade i tegljenje izvađene podmornice u bazu.

D. Kajić

M. Franić	D. Kajić	A. Korbar	V. Kristić
D. Patarić	B. Ryšlavý	J. Zaninović	B. Žurić
		M. Žvanović	

PODOVI, slojevi (podloga, izolacija, zaštita i završni gornji sloj) iznad nosive konstrukcije ili iznad tla. U užem smislu pod je samo gornji završni sloj po kojem se hoda i po kojem se kreću vozila.

Izbor vrste materijala za pod ovisi o namjeni prostorije, o prometu u prostorijama, o podlozi na kojoj počiva pod, o raspoloživim sredstvima, o mjesnim prilikama i sl. Ispavan izbor poda važan je s higijenskog i estetskog stanovišta, a taj izbor neposredno utječe na visinu građevnih troškova i na troškove uzdržavanja građevine.

Od poda se općenito zahtjeva sljedeće:

a) pod mora imati ravnu površinu sa što manje rešaka i pora. Na podu s otvorenim reškama, porama i hraptavom površinom skuplja se prašina, teško se čisti i brzo se troši. Radi sigurnosti kretanja površina poda ne smije biti preglatka i skliska. Normalno je površina poda u zgradama vodoravna, osim kad namjena prostorije uvjetuje da pod ima nagib. Podovi izvan zgrada, izvode se koso radi otjecanja vode;

b) pod mora biti otporan na trošenje, što je osobito važno u prostorijama s velikim prometom. Trajinost poda dade se znatno povećati stalnim i stručnim održavanjem;

c) pod treba biti stabilan i dovoljno čvrst na plošni pritisak. Stabilnost poda mora biti ista kao stabilnost nosive konstrukcije.

Plošni pritisak noge pokućstva iznosi ~50–100 N/cm², a glasovira i do 500 N/cm²;

d) pod mora osigurati dovoljnu toplinsku zaštitu. Pod zajedno sa stropnom nosivom konstrukcijom mora zadovoljavati Tehničke uvjete za projektiranje i građenje zgrada (JUS U.J5.600), koji propisuju minimalne uvjete s obzirom na toplinsku izolaciju stropova i s obzirom na difuziju vodene pare kroz konstrukciju stropa. Položaj toplinskoga zaštitnog sloja u stropu vrlo je važan s obzirom na difuziju vodene pare i mogućnost stvaranja kondenzata u konstrukciji. Kondenzacija vodene pare nastaje kad para difuzijom, kroz kapilare i pukotine, prodre u unutrašnjost konstrukcije i dopre do slojeva kojima je temperatura niža od temperature rošenja. Da bi se izbjegla pojava kondenzata, treba ili sprječiti prorod pare u konstrukciju ugradnjem paronepropusne membrane, ili omogućiti slobodno strujanje zraka ugradbom paroodvodnog sloja u obliku šupljih opeka, rebraste bitumenske ljepenke, ljepenke s krupnim donjim posipom i sl. Toplinski zaštitni sloj treba ugraditi na hladnoj strani, a paronepropusni sloj na toploj strani konstrukcije. Toplinski zaštitni slojevi mogu biti izvedeni u obliku suhog nasipa pijeska, gruha i različitog laganog usitnjenog materijala, u obliku laganih namaza, ploča plinobetonu i pjenobetona, namaza od cementa, magnezita, sadre i sintetskih smola s laganim agregatima (troska, ekspandirana gлина, granule perlita, piljevina i sl.), zatim u obliku ploča od sintetskih pjena na osnovi fenola i poliuretana, ploča i jastuka od mineralne ili staklene vune, ploča od trske i slame, te od laganih ploča vlaknatica, iverica i puta. Paronepropusni slojevi rade se od metalnih listova, bitumenske ljepenke s uloškom aluminijskih folija, različitih traka na osnovi kaučuka, premaza na osnovi kaučuka i poli(vinil-klorida) i sl.;

e) pod mora biti topao. U stambenim i radnim prostorijama, te u stajama moraju se podovi izgraditi od materijala koji dobro od tijela ne odvodi previše topline. Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za završne radove u zgradarstvu određuje koeficijente odvođenja topline S ($\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{K}^{-1}$). Prema tome koeficijent razlikuju se topli podovi ($S < 25 \text{ kJ m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{K}^{-1}$), polutopli ($S < 42 \text{ kJ m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{K}^{-1}$) i hladni podovi ($S < 84 \text{ kJ m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{K}^{-1}$);

f) pod mora osigurati dovoljnu zvučnu izolaciju. Pod, odnosno strop u stambenim i radnim prostorijama, mora zadovoljavati Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za zvučnu izolaciju zgrada, koji određuje minimalne vrijednosti zvučne izolacije i maksimalne vrijednosti zvučne propustljivosti, te način njihova ispitivanja. Zvučna izolacija postiže se dovoljnom masom stropne konstrukcije, ugradbom plivajućeg poda ili izradbom ovješenog pogleda stropa, koji je što neovisniji o stropnoj konstrukciji. Armiranobetonski stropovi mase $\geq 350 \text{ kg/m}^2$ zadovoljavaju s obzirom na zvučnu izolaciju. Plivajući pod obično se radi u obliku 3–5 cm debelog armiranog namaza, koji je položen preko elastičnog sloja mineralne ili staklene vune ili sličnog materijala. Namaz mora biti odijeljen elastičnim slojem od bočnih stijena i od donjih slojeva. Smanjenje udarnog zvuka (topota) postiže se izradbom poda od elastičnih materijala (guma, linoleum, tekstilne i sintetske prevlake) koji upijaju zvuk, izradbom plivajućeg poda ili ulaganjem elastičnog sloja ispod završnog sloja;

g) pod se mora lako čistiti, održavati i popravljati. Čišćenje i sredstva za čišćenje i održavanje ovise o materijalu od kojega je pod i o svrsi kojoj služi prostorija. Neodržavanje ili pogrešno održavanje čest je uzrok brzom propadanju poda.

Osim ovih općih zahtjeva, od poda se posebno zahtjeva još i sljedeće:

a) pod treba biti vatrosiguran. Vatrosigurnost se zahtjeva kad bi podovi mogli doći u izravan dodir s vatrom, npr. u radionicama i prostorijama s lakoupaljivim materijalom, na tavama i sl.;

b) pod mora biti nepropustan za vodu i vlagu. U prostorijama gdje se radi s vodom, kao u praonicama, kupaonicama, kuhinjama i sl., pod mora biti od materijala koji ne propušta vodu i koji je otporan na vlagu. Tada i stropna konstrukcija mora biti od materijala koji odolijava vlagu. Ako je potrebna