

PODMORNICA  
TEORIJSKE  
OSNOVE

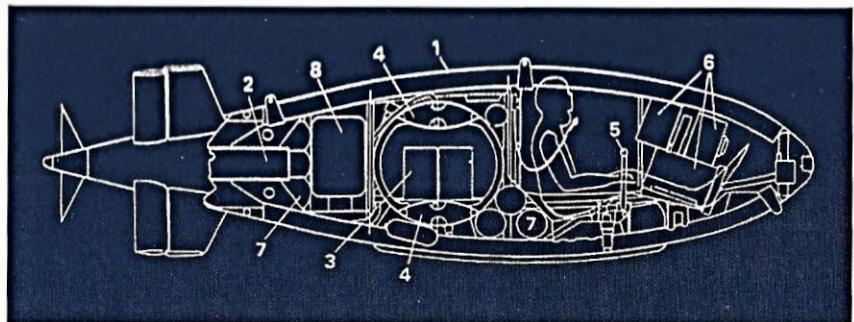
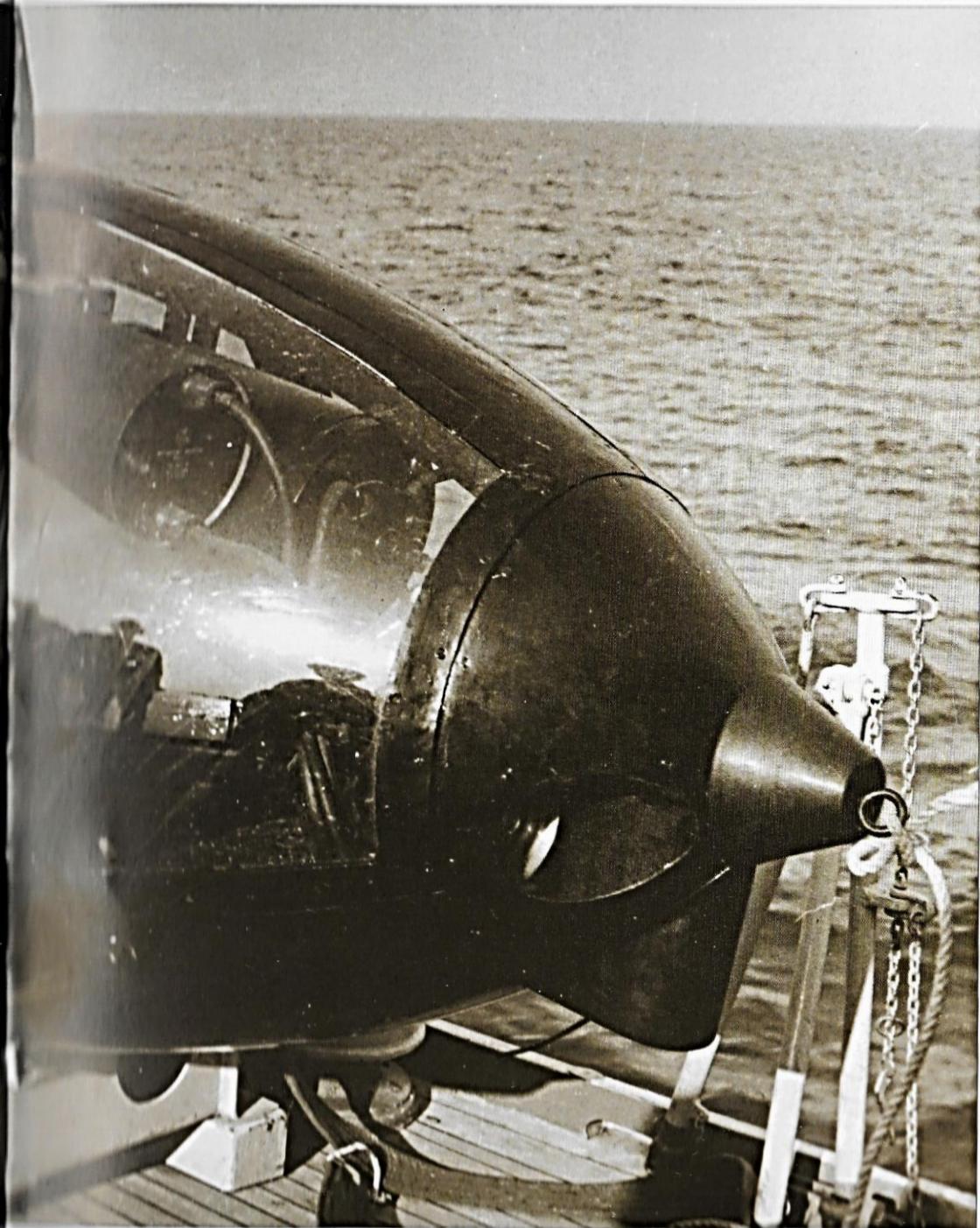
## PODMORNICA - RONILICA

Tijekom višestoljetnog razvoja podmorničarstva stečena su potrebna iskustva i stvarana znanstvena osnova za daljnju tehničku nadgradnju. Primjenom novih metoda u proizvodnji metala, posebice čelika, razvojem elektromotora istosmjerne struje, generatora, akumulatora električne energije, motora s unutarnjim izgaranjem (prije svega dizelskih), periskopa i žirokompassa, stvoreni su potrebnii preduvjeti za razvoj podmornica. Jedna od važnih komponenti koja će podmornici dati veliku borbenu moć bio je riječki torpedo. I tek kada su pri kraju XIX. stoljeća ostvareni ti nužni uvjeti, izgrađene su stvarno upotrebljive podmornice koje su se počele uvoditi u sastave ratnih mornarica najrazvijenijih industrijskih zemalja. Od tada podmornica više nije samo brodograđevni izazov već postaje i moćno borbeno sredstvo na moru, sposobno ploviti na površini i pod vodom.

Povjesno gledano, sva su podvodna plovila u doba njihovog početnog razvoja nazivana podmornicom. Preciznija definicija pojavila se sredinom XX. stoljeća nakon pojave novih, jedinstvenih pogona za površinsku i podvodnu plovidbu pa su se prethodne, s dvojnim pogonom (jedan za dugotrajnu površinsku, drugi za kratkotrajnu podvodnu plovidbu) počele nazivati *ronilicama*. Suštinska razlika među njima nije samo u načinu djelovanja, snazi i brzini, nego i u konstrukciji trupa. Tako su podmornice - ronilice do pred kraj II. svjetskog rata imale razmjerne veću rezervnu plovnost zbog *plutnika* na pramcu, velikih bočnih tankova ronjenja, široke palube i velikog nadgrađa kako bi se ostvarila što veća *pomerstvenost* u površinskoj plovidbi. Osim toga, velike zalihe goriva i veća snaga pogonskog uređaja za nadvodnu plovidbu omogućavali su veće brzine i daljine ploviljenja na površini. Podmornice - ronilice toga tipa zaronjavale bi neposredno prije napada na cilj i ostajale pod vodom dok su ih progonili. Snaga pogonskih strojeva za podvodnu plovidbu i kapacitet akumulirane energije bili su manji nego snaga za plovidbu na površini. Stoga je i podvodna brzina bila manja a trajanje podvodne plovidbe kraće (20 do 30 sati, a i manje), zavisno od režima plovidbe. Budući da je dizelski motor putem osovinskog voda izravno pokretao podmornički vijak u površinskoj, a elektromotor u podvodnoj plovidbi, taj se tip podmornica naziva i *dizel-elektronskona podmornica*.



Slika 13. Diverzantska ronilica JRM-HRM tipa R 2.

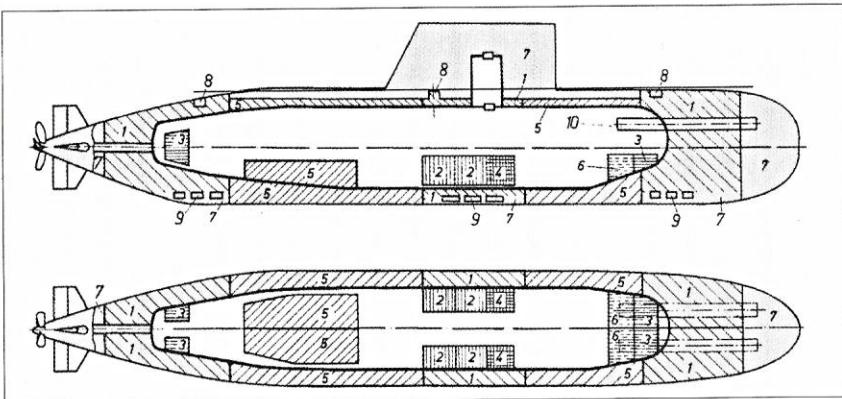


Slika 14. Shema diverzantske ronilice JRM R2. 1. aluminijski trup, 2. porivni elektromotor, 3. akubaterija, 4. tank (regler), 5. upravljačka palica, 6. navigacijsko - upravljački uređaj, 7. spremnici za zrak, 8. mina

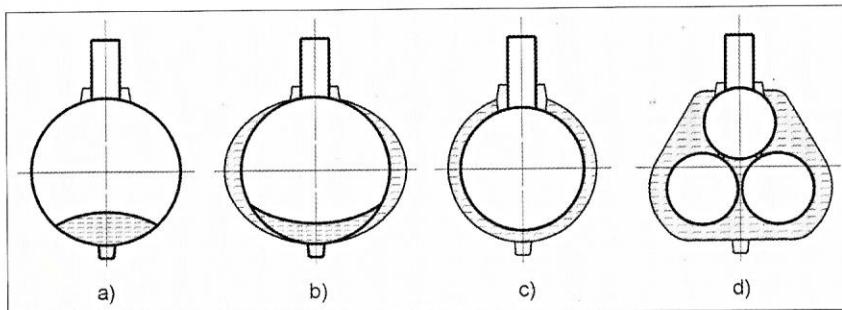
Na temelju stečenih iskustava u borbi tijekom II. svjetskog rata, primjenom *šnorkla* i ugradnjom *akubaterija* većeg kapacita te prilagodbom konstrukcije trupa za veće podvodne brzine, ostvaren je projekt novog tipa podmornice poznate pod nazivom dizel-električna odnosno *električna* podmornica. Najpoznatiji predstavnici te klase podmornica su njemački tipovi *XXI* i *XXIII*. Razvoj anaerobnih pogona na bazi kemijskog goriva, a posebice razvoj nuklearnog reaktora koji je omogućio instaliranje strojeva velike snage, zahtijevao je novu prilagodbu trupa za veće podvodne brzine. Podmornice toga tipa trajno su zaronjene na višestoljetnim putovanjima. Time je ostvaren višestoljetni san i napor brojnih izumitelja. Podvodni brod je na taj način uistinu postao podmornica, dok se pojам *ronilice* za držao za podvodna plovila manjih dimenzija koja su ovisna o matičnom brodu ili podmornici.

## KONSTRUKCIJA TRUPA

Podmornica se sastoji od lakog i čvrstog trupa. Laki trup daje podmornici potrebnu hidrodinamičku formu na pramcu, krmu i palubi te oko tornja i izvlačivih antena i uredaja smještenih u mostu. Laki trup je naplavljiv. Njegove stijenke su s obje strane, unutarnje i vanjske, izložene jednakom tlaku mora na dubini ronjenja. Stoga mogu biti od lima manje debljine (od 6 do 10 mm), odnosno u *lakoj izvedbi*. Pojedini dijelovi lakinog trupa (most, paluba...) mogu biti izrađeni od stakloplastike koja se lako održava, a ima i povoljnija hidroakustička svojstva. U lakinom trupu su



Slika 15. Razmještaj glavnih i pomoćnih tankova ronjenja te tankova za gorivo na dvotrupnoj podmornici. 1 - glavni tankovi ronjenja, 2 - plavni i pimi regler, 3 - trim tankovi, 4 - nadomjesni tankovi, 5 - tankovi za gorivo, 6 - torpedni tank, 7 - naplavljivi dio mosta, plutnika, lančanika, 8 - odušnici glavnih tankova, 9 - plavnici glavnih tankova.



Slika 16. Oblici čvrstog trupa podmornice: a) jednotrupne; b) mješovite gradnje; c) dvotrupne; d) višetrupne podmornice.

smješteni glavni tankovi ronjenja, tankovi dizelskog goriva te oprema i uređaji kojima dodir s vodom ne smeta.

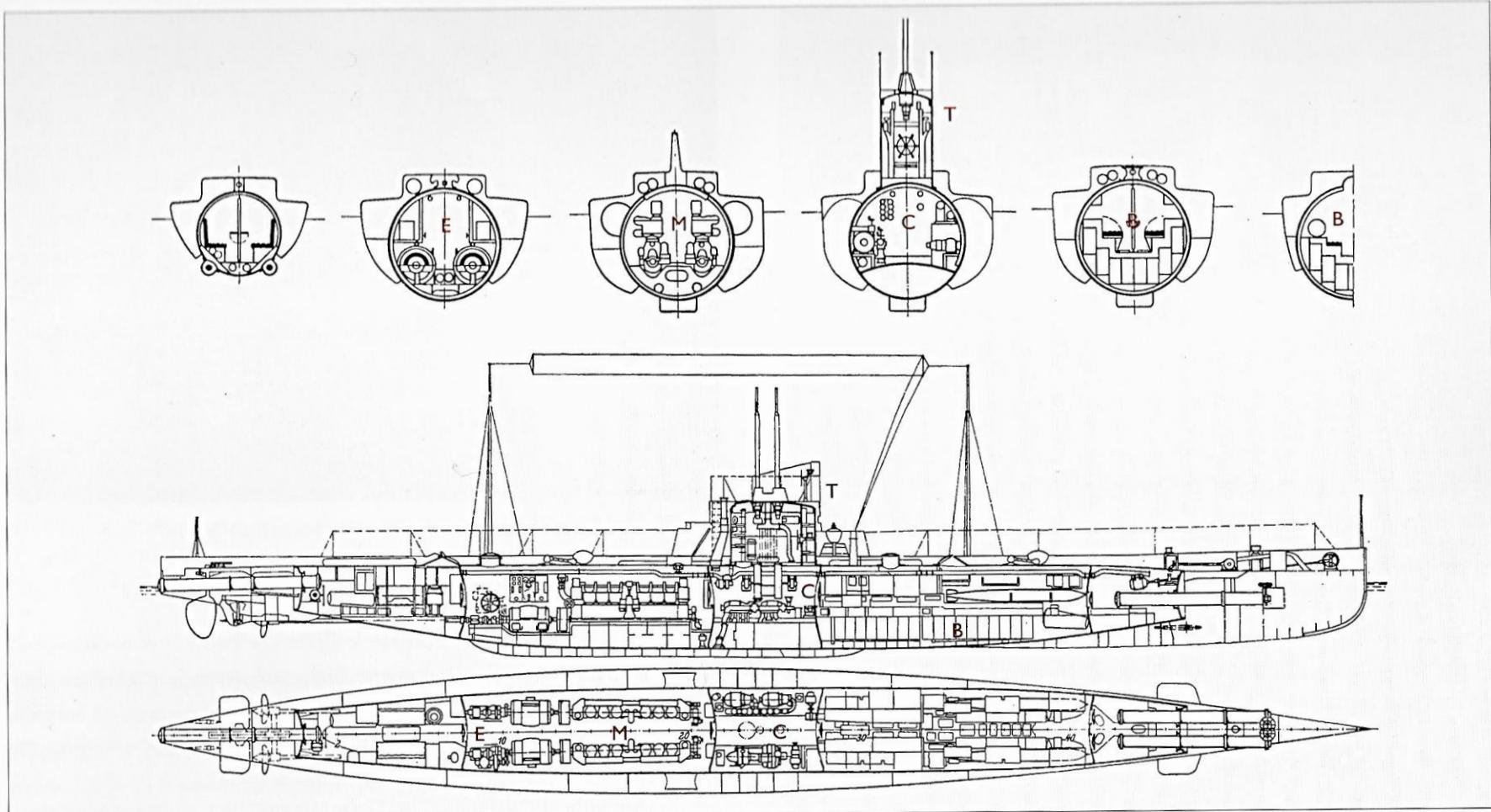
Posada, strojevi, hrana, materijal za regeneraciju zraka radi održavanja potrebnih životnih uvjeta i ostali vitalni uređaji i oprema smješteni su unutar hermetički zatvorenog čvrstog trupa. Konstrukcija čvrstog trupa sastoji se od oplate, rebara i nepropusnih pregrada unutar trupa. Čvrsti trup treba izdržati silu hidrostatskog tlaka vode koji se za svakih 10 metara dubine ronjenja povećava za 1 bar, odnosno za 100 kN (10 tona) po četvornom metru oplate zaronjene podmornice. Zbog toga su elementi čvrstog trupa izloženi velikim naprezanjima i deformacijama.

*U jačini čvrstog trupa* izgrađeni su i glavni tankovi ronjenja, smješteni unutar čvrstog trupa, te cjevovodi drenaže i trima, kao i cjevovodi i kućišta uređaja za hlađenje strojeva koji trebaju raditi do tražene dubine ronjenja. Iste čvrstoće su i torpedne cijevi, silosi za smještaj i lansiranje raketa te svi oni dijelovi izvan čvrstog trupa koji trebaju osigurati hermetičnost uz neznatne deformacije. Debljina oplate čvrstog trupa zavisi od zadane granične dubine ronjenja, konstrukcije trupa, vrste materijala i tehnoloških mogućnosti za obradu limova. Limovi oplate mogu biti debeli od 20 do 40 mm, a iznimno kod podmornica s velikom istisninom i velikom graničnom dubinom i do 60 mm.

Čvrsti trup podmornice je valjkastog odnosno vretenastog oblika koji prema krmi, a ponekad i prema pramcu, prelazi u odsječeni, krunji konus koji završava s krmenom, odnosno pramčanom kalotom. Takav oblik trupa ima (osim kugle) najmanju površinu izloženu hidrostatskom tlaku mora pa su time opterećenja trupa manja u usporedbi s nekim drugim oblicima presjeka (eliptični, trokutni). Manji promjer čvrstog trupa izravno utječe na manju debljinu lima, jednostavnije tehnološke postupke, na manju oplakanu površinu, manji otpor vode, manju instaliranu snagu, nižu cijenu. Kako su za smještaj opreme (raketa) i veliku autonomiju potrebne sve veće podmornice, rastu i njihovi promjeri trupa, pa se s uobičajenih četiri do šest metara došlo do promjera 11 -12 metara. Za one najveće čak ni to nije dovoljno pa se čvrsti trup izrađuje od dva, tri i više cilindara manjeg promjera. Na taj način se manjom debljinom oplate i manjim težinskim udjelom u istisnini podmornice (oko 15 do 25%) postiže i veća dubina ronjenja.

## ARHITEKTURA PODMORNIČKOG PROSTORA

Unutrašnjost podmornice podijeljena je čvrstim pregradama na više hermetički zatvorenih odjeljaka. Čvrstoća pregrada u načelu je manja od čvrstoće čvrstog trupa. Njihova čvrstoća odgovara uvjetima za individualno spašavanje iz potonule podmornice. Odjeljci čvrstog trupa podijeljeni su okomitim i vodoravnim pregradama na namjenske prostore za

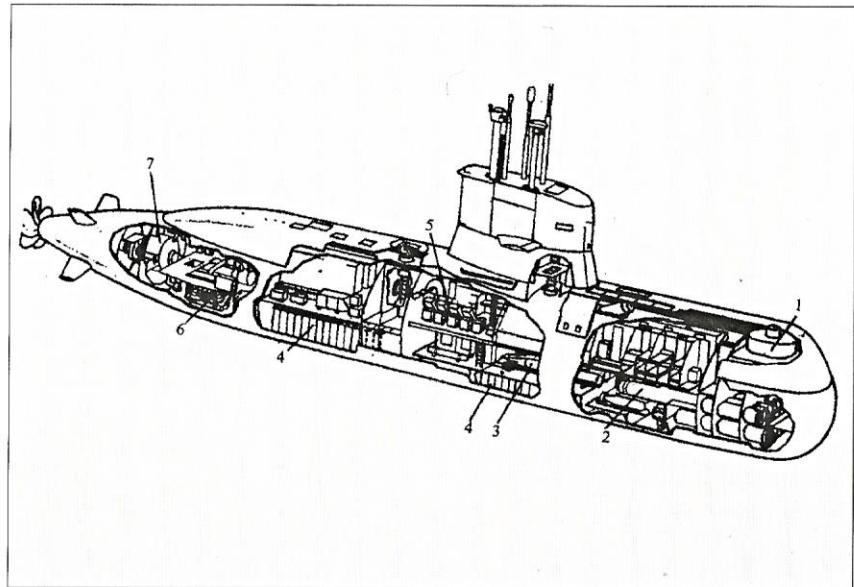


Slika 17. Raspored osnovnih uređaja i smještaj posade na dizel-elektromotornoj podmornici. Austrougarska je ovaj tip podmornice prepustila Njemačkoj na početku I. svjetskog rata. Plovile su pod oznakom U 66 do U 70. B - akubaterija, C - centrala, E - elektromotori (porivni), M - dizelski motori, T - toranj.

smještaj posade i opreme. Za komunikaciju među odjeljcima služe prolazi s okruglim ili eliptičnim, teškim sferičnim vratima, odnosno poklopцима koji moraju izdržati vodeni pritisak s obje strane. Zbog toga su pregradna vrata opremljena posebnim uredajem za zatvaranje i pritezanje, a u nekim slučajevima i hidrauličnim uredajem s daljinskim otvaranjem.

Broj nepropusnih odjeljaka i prostora zavisi od veličine (istisnine) podmornice, odnosno od namjene, izvora energije i naoružanja. Bitna je razlika između unutarnje arhitekture dizelskih i nuklearnih ili obalnih,

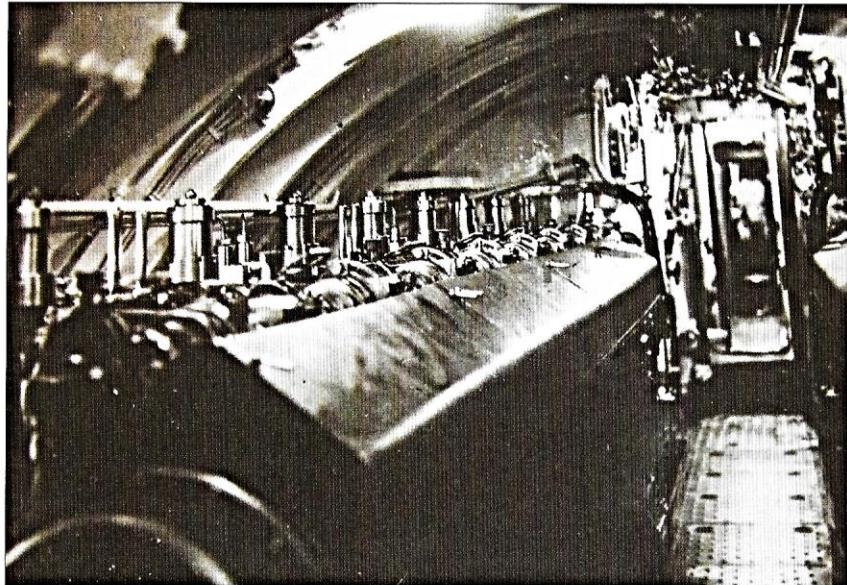
diverzantskih i oceanskih podmornica. Međutim, za sve njih zajednički je nedostatak radnog, odnosno životnog prostora, osim kod strateških podmornica naoružanih balističkim raketama. Kako bi se skratio ukupno vrijeme realizacije projekta, nerijetko se događa da izrada izvedbene tehničke dokumentacije, razvoj opreme i gradnja podmornice idu istodobno. Zbog toga se projektna rezerva sadržana u prostoru i istisnini (krutom balastu oko 5%) ubrzno potroši. Stoga projekt obično završi redukcijom broja kreveta, produženjem paralelnog srednjaka za još neko-



Slika 18. Raspored prostora i smještaj osnovne opreme suvremene dizel-električne podmornice.  
1- antena hidrauličkog uređaja (sonar), 2- torpedni aparati, 3- pričuvna torpeda, 4- akubaterija, 5- centrala, 6- dizel - generator, 7- porivni elektromotor.

liko rebara ili ubacivanjem dodatne sekcije trupa. Nepropusni odjeljci i prostori nazvani su prema osnovnoj opremi koja je u njima smještena ili prema rednom broju počev od pramca. U načelu podmornice srednje veličine (od 600 do 1.000 tona) imaju 5 do 6 odjeljaka međusobno hermetički odvojenih čvrstim pregradama. Unutar jednog odjeljka može biti nekoliko prostora odvojenih lakin pregradama. Ovi prostori služe za smještaj specijalnih uređaja (radio ili hidroakustičke opreme), za kuhinju, sanitarije, kontrolne kabine i kabine posade.

**Pramčani torpedni odjeljak** imaju sve one podmornice koje su naoružane torpedima, uključujući i nuklearne. Osim torpednih uređaja, u odjeljku su smještena pričuvna torpeda, uređaj za transport torpeda, torpedni tankovi, torpedna stanica, a nerijetko i ležajevi za posadu i sanitarni prostor. Na pregradi prema susjednom odjeljku obično je smještena pramčana izlazna (spasilačka) komora u kojoj postoje i poklopci otvora za ukrcaj torpeda. U svakom odjeljku smješten je odgovarajući broj spasilačkih aparata i opreme za individualno spašavanje iz potonule podmornice te spremište hrane i pitke vode.



Slika 19. Strojarnica dizel-elektromotorne podmornice Nebojša (Tara-P 801).

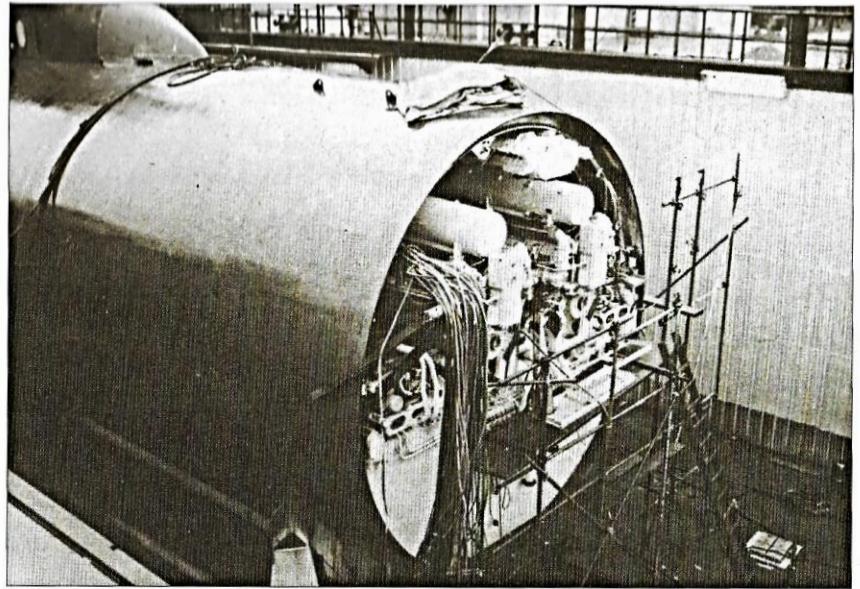
**Časnički (baterijski) odjeljak** obično je podijeljen vodoravnom pregradom na dva dijela. U donjem dijelu smještena je pramčana akubaterija. U gornjem dijelu su momčadski prostor s kabinama za časnike, kuhinja, improvizirani prostor za blagovanje, hladnjak, baterijska raskllopna ploča, sanitarije.

**Centrala.** U gornjem dijelu trećeg odjeljka smješteno je glavno zapovjedno mjesto – centrala. U njoj se nalazi borbeni obaveštajni centar s hidroakustičkim, navigacijskim, radio i radarskim uređajima, periskopi, pult upravljanja i trimovanja podmornicom opremljeni signalizacijom *otvoreno – zaprto*, glavna *pirna stanica* te sredstva unutarnje i vanjske veze. Ispod palube u centrali nalaze se regleri, bunari periskopa, glavna ventilna trim stanica, trim i drenažna pumpa, sabirna ventilna VTZ (visoko tlačni zrak) stanica, a ponekad i baterijska jama. Iznad centralne nalazi se toranj sa zapovjednim mostom u površinskoj plovidbi.

**Toranj** je izgrađen u jačini čvrstog trupa. S gornje i donje strane čvrsti su poklopci silaza. U podmornicama do kraja II. svjetskog rata u njemu se nalazilo zapovjedno mjesto s uređajem za lansiranje torpeda i



Slika 20. Strojarnica dizel-električne podmornice P 831, Sava.



Slika 21. Strojarnica njemačke dizel-električne podmornice tipa 209 u gradnji.

glava s okularom napadnog periskopa. Današnja uloga tornja svela se na komunikaciju sa zapovjednim mostom u površinskoj plovidbi, ali i kao komora za spašavanje. Osim toga, toranj daje dodatni stabilitet podmornici u osjetljivoj fazi zaronjavanja djelujući površinom na presjek vodne linije ili *momentom tromosti površine vodne linije*. Kada podmornica gubi površinu vodne linije prijeti joj opasnost da se potopi. Tromost zavisi od veličine broda.

**Zapovjedni most** podmornice smješten je iznad tornja. Koristi se samo u površinskoj plovidbi. Izrađen je u *jačini lakog trupa* jer je u podvodnoj plovidbi potpuno naplavljen. Opremljen je prenosivim uređajima za komunikaciju s centralom i ostalim odjeljcima u podmornici te s prenosivim sredstvima za osmatranje i signalizaciju. U produženom dijelu mosta smještene su uvlačive antene periskopa, radara, radar-detektora, radio uredaja, šnorkla, gravitacijski tank morske vode za kompenzaciju utrošenog goriva, površinski WC te klupe za manji broj ljudi u prostoru za pušenje. Podmornice II. svjetskog rata na dijelu zapovjednog mosta

po krmi ili na pramcu imale su platforme s postoljem za protuzračne topove i sanduke sa streljivom.

**Dizelmotorni odjeljak.** Od centrale prema krmi nalazi se dizelmotorni odjeljak s prostorom pomoćnih i glavnih pogonskih strojeva koji su međusobno odijeljeni lakom, plinskom pregradom. U prostoru pomoćnih strojeva smješteni su uređaji za ventilaciju i klimatizaciju podmornice, uređaj šnorkla, pretvarači istosmjerne u izmjeničnu struju i kabina za posadu sa sanitarnim uređajima. Ispod palube prostora pomoćnih strojeva smještena je krmena akubaterija. U dizel-motornom prostoru su, osim glavnih pogonskih strojeva, smješteni taložni i dnevni tankovi goriva, *transfer pumpe* (prijenosne pumpe) goriva, spremišta rezervnih dijelova, alata i pribora, *izvrstive spojke* (one koje se mogu odvajati) i kompresor zraka. U sklopu pregrade prema krmnom odjeljku nalazi se krmena izlazna (spasilačka) komora.

**Elektromotorni (krmeni torpedni) odjeljak.** U krajnjem dijelu krmenog odjeljka smješten je glavni porivni elektromotor dizel-elek-

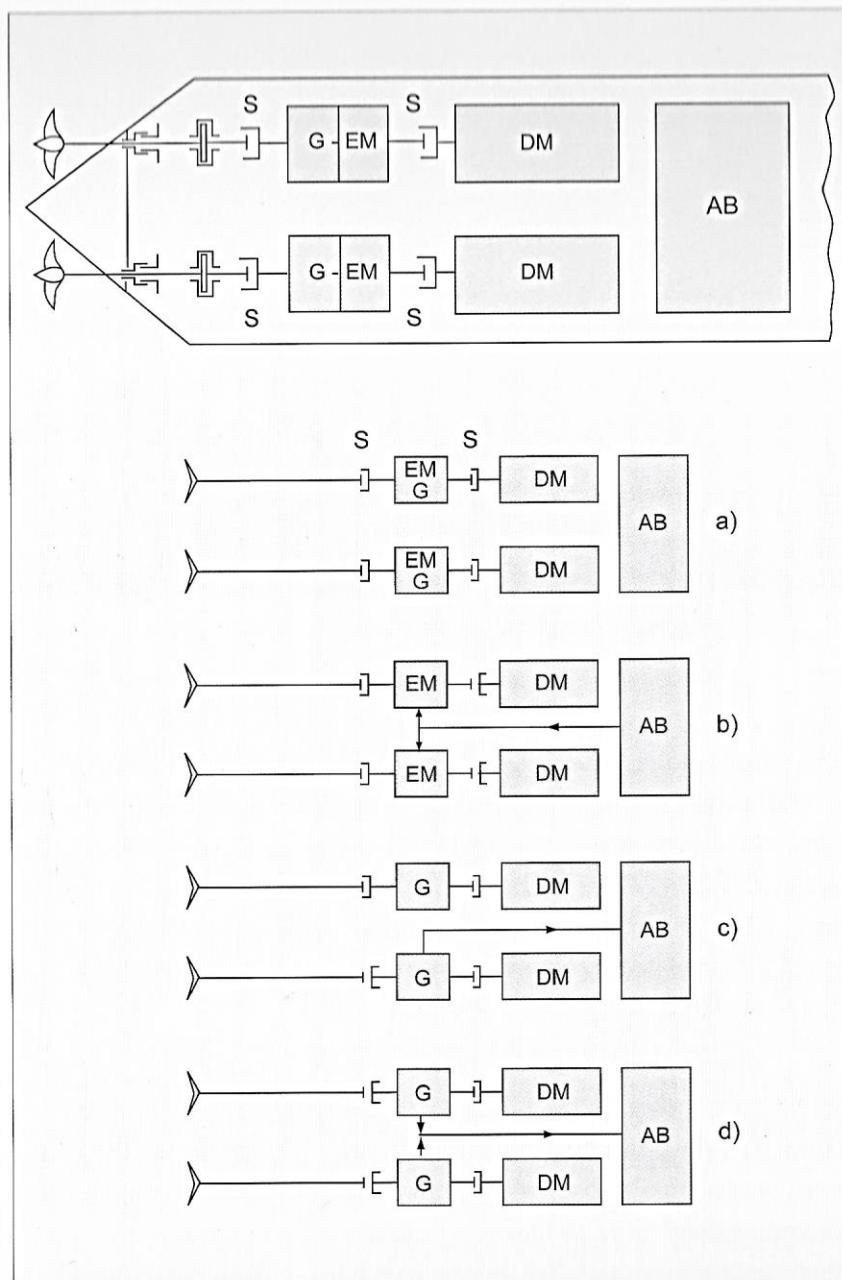
tričnih podmornica s pripadajućim uređajem za hlađenje i ventilaciju, kompresor VTZ, pult upravljanja glavnim pogonskim strojevima, hidraulički uređaji za upravljanje smjernim i dubinskim kormilima te sanitarni uređaj. U slobodnom dijelu prostora smješteni su ležajevi za posadu. Kod nekih većih podmornica s dizel-elektromotornim pogonom odnosno izravnom dizel-motornom propulzijom u krmenom odjeljku smještene su od jedne do četiri torpedne cijevi. Između krmenog i dizel-motornog odjeljka, u sklopu krmenog silaza (spasilačka komorica), nalazi se otvor s poklopcom za ukrcavanje torpeda, za slučaj da je podmornica opremljena krmenim torpednim cijevima.

Za razliku od dizel-elektromotornih podmornica iz I. i II. svjetskog rata suvremene dizel-električne podmornice imaju manje brzokretne dizel-generatore, veće akubaterije i snažnije porivne elektromotore s kraćim osovinskim vodom bez izvrstivih spojki. Time je stvoren prostor za lakši razmještaj opreme i omogućen veći stupanj automatizacije upravljanja pogonskim uređajem s manjim brojem posade.

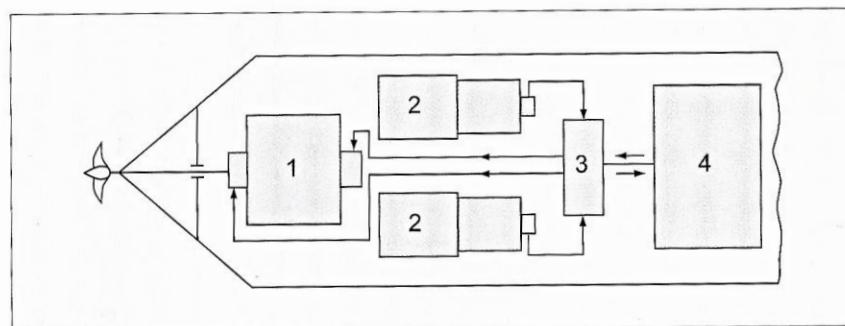
Kod podmornica s nuklearnim izvorom energije bitno se razlikuje arhitektura krmenog dijela podmornice. Odmah iza centralne smješteni su odjeljci (jedan ili dva) s nuklearnim reaktorom i biološkim štitom, zatim jedan ili dva odjeljka s parnim turbinama, reduktorima i kondenzatorima te odjeljak pomoćnih strojeva. Nuklearne podmornice naoružane balističkim raketama imaju još posebne odjeljke s lanserima koji se nalaze iza ili ispred mosta (ruski *Typhoon*). Smještajni uvjeti na velikim podmornicama strateškog značaja znatno su povoljniji pa se na njima može naći i sauna, bazen, prostor za rekreatciju, pušenje, ambulanta, uz daleko komforntniji smještaj nego na napadnim nuklearnim ili dizel-električnim podmornicama.

## PODMORNIČKO POGONSKO POSTROJENJE

Podmorničko pogonsko postrojenje sastoji se od strojeva i uređaja složenih u sustav za proizvodnju i akumuliranje energije za propulziju u površinskoj i podvodnoj plovidbi. U proteklom stogodišnjem razdoblju



Slika 22. Izravna (direktna) dizel-elektromotorna propulzija. a) Izravna (direktna) propulzija u površinskoj plovidbi pomoću dizelskih motora; b) elektromotorna propulzija u podvodnoj plovidbi; c) šnorkl plovidba uz punjenje akubaterija; d) lučki pogon zbog punjenja akubaterija. S - spojka, G/EM - generator/elektromotor, DM - dizelski motor, AB - akubaterija.



Slika 23. Dizel-električno pogonsko postrojenje.

1 - Porivni elektromotor; 2 - dizel-generator; 3 - glavna rasklopna ploča, 4 - akubaterija.

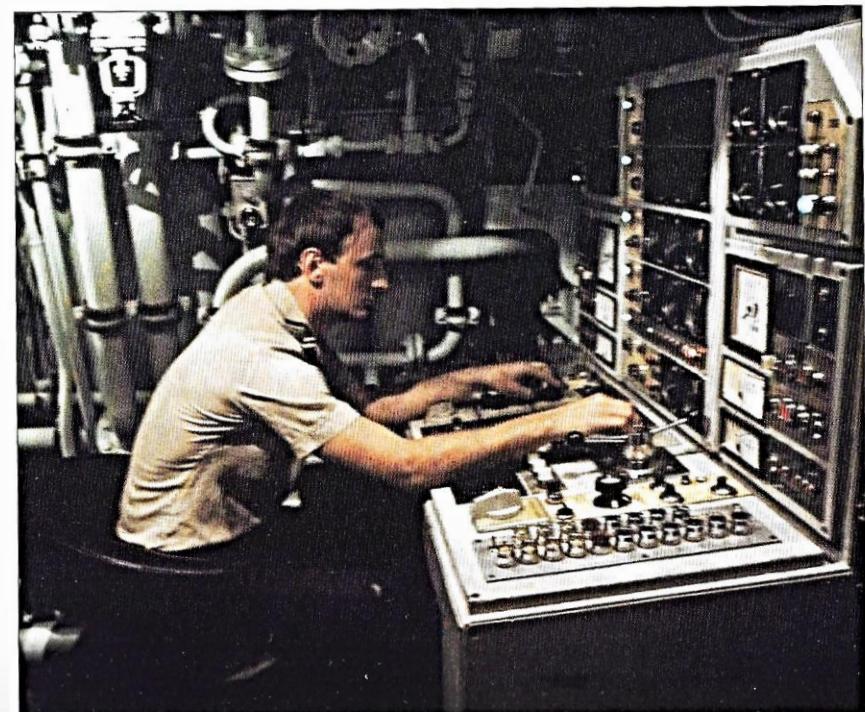
blju razvoja podmorničarstva prevladavala je primjena dvojnih pogona za propulziju podmornice. Jedan pogon služio je za površinsku, a drugi za podvodnu plovidbu. Za obalne podmornice malog dosega plovidbe primjenjivani su jedinstveni pogoni s akubaterijom kao jedinim izvorom energije (*Gustave Zede, Gymnote*, ili danas na diverzantskim podmornicama tipa *Una*). Osnovne komponente podmorničkog postrojenja su dizelski motori, elektromotori, generatori, podmornička akumulatorska baterija, te pripadni pomoći uređaji (uređaj za dovođenje zraka i odvođenje ispušnih plinova – *snorkl*, sustav kompenzacije težine utrošenog goriva, sustavi hlađenja, nadzora rada i upravljanja) koji omogućuju pouzdan rad tijekom površinske i podvodne plovidbe. Prije pojave dizelskog motora (1897.) osnovni izvori energije u površinskoj plovidbi bili su parni stroj (*Resurgam, Narval, Nordenfelt...*) i benzinski motor (*Holland, Lake...*). Prvu podmornicu s dizelskim motorom izgradili su Rusi (*Minoga*, 1908.), a ubrzo su ih slijedili i drugi. Pojavom dizelskog motora svi spomenuti podmornički pogoni za površinsku plovidbu nisu se više koristili.<sup>4</sup>

Prednost dizelskog pogona, u usporedbi s ostalima, ogleda se u njegovoј pouzdanosti, jednostavnosti i ekonomičnosti. Dieselov kružni proces do danas je najbolji termički proces za pretvorbu potencijalne kemiske energije goriva u mehanički rad. Tek uvođenjem dizelskog moto-

ra podmornice postaju moćno oružje sposobno ploviti po svim morima i oceanima svijeta, osim u trajno zaledenom području Sjevernog ledenog mora. Snaga konvencionalnih pogonskih postrojenja kreće se do 5 MW. Podmorničko pogonsko postrojenje s dizelskim motorom razvijalo se u dvije osnovne varijante i to s izravnim pogonom propelera i posredno preko dizel-generatora i porivnog elektromotora.

**Izravna dizel-eletromotorna propulzija** je karakteristična za primjenu razmjerno težih srednjekretnih dizelskih motora bez redukcije broja okretaja. Primjenjivala se do kraja II. svjetskog rata. Propeler u podvodnoj plovidbi pokreću elektromotori napajani strujom iz akubaterije. Isti elektromotor radi u režimu generatora kada ga u površinskoj ili šnorkl plovidbi pokreće dizelski motor radi punjenja akubaterija.

**Dizel-električna propulzija.** U toj varijanti glavni porivni stroj je elektromotor koji izravno (bez reduktora) pokreće propeler u površinskoj ili podvodnoj plovidbi. Glavni porivni elektromotor se napaja strujom



Slika 24. Pult upravljanja pogonskim postrojenjem na P 831.

<sup>4</sup> Prevlast dizelskog pogona na trgovackim, odnosno površinskim brodovima ostvarena je tek pedesetak godina kasnije. Danas preko 70% svjetske trgovacke flote ima dizelski motorni pogon.

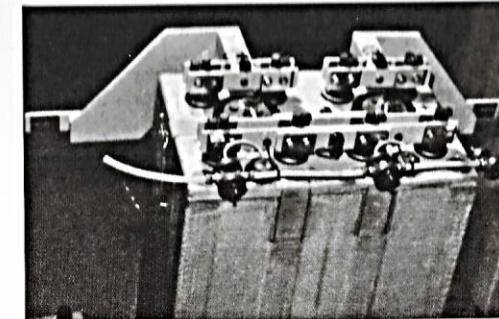
iz dizel-generatora ili iz akubaterije preko glavne rasklopne ploče. Višak električne energije iz dizel-generatora (u nižim režimima plovidbe) akumulira se u akubaterijama. Ova izvedba postrojenja odgovara lakisom, brzokretnim dizelskim motorima koji rade na optimalnoj brzini vrtnje i pri nominalnom opterećenju. Broj dizel-generatora može biti veći od broja porivnih elektromotora. Postrojenje je jednostavnije, lakše, zapreminski manje, otpornije na šokove i pogodnije za automatsko upravljanje. Razvijeno je potkraj II. svjetskog rata za njemačke podmornice tipa *XXI* i *XXIII*. Komponente podmorničkog pogonskog postrojenja, naoko slične uredajima na drugim brodovima, bitno se razlikuju jer moraju zadovoljiti posebne tehničke zahtjeve uvjeta rada i smještaja na objektu.

**Podmornički dizelski motor** za razliku od brodskih ili drugih motora mora pouzdano raditi s povećanim protutlakom na strani podvodnog ispuha (do 1,4 bara ili 14-metarskog vodenog stupa) i pri podtlaku na usisu (oko 100-120 mbar). Čak i u luci, kad motor ne radi, zbog male rezervne plovnosti podmornice prijeti trajna opasnost od prodora vode u unutrašnjost cilindara motora i u podmornicu putem ispušnih cjevovoda jer se najviša točka motora trajno nalazi ispod razine mora. Isto tako, zbog povećanog protutlaka ispuha, prekrivanja ventila na glavi motora moraju biti manja od uobičajenih, kako bi emisija ispušnih plinova kroz usisne ventile i cjevovode bila što manja zbog opasnosti od kontaminacije podmorničke mikroklimе. Sve to ima nepovoljni utjecaj na izgaranje, snagu i stupanj korisnosti procesa.

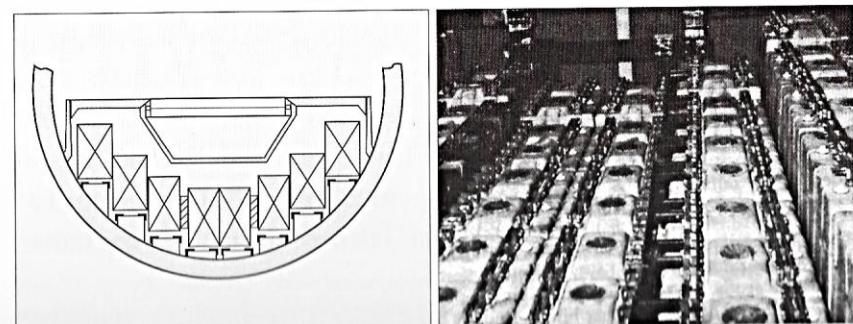
Podmornički pogonski strojevi moraju podnijeti velike trimove i nagibe te udare bliskih eksplozija. Moraju raditi tiho i bez vibracija jer se one prenose na trup i okolinu. Zbog toga su elastično temeljeni, čak i dvostruko, a katkada i zvučno izolirani odnosno *kapslovani*. Podmornica treba imati što je moguće više pogonskih sati do generalnog popravka motora, jer je zbog teškog pristupa i skučenosti prostora otežano brodsko održavanje koje zahtijeva veća rastavljanja, zamjenu ili popravak pojedinih istrošenih dijelova.

**Podmornička akumulatorska baterija** je osnovni izvor energije u podvodnoj plovidbi. Sastoji se od skupine serijski spojenih akučlanaka čiji broj (oko 100 do 300) zavisi od projektno izabranog osnovnog na-

pona električne mreže na podmornici (120 – 345 V). Kako bi struje tereta bile što manje, a time manje težine i gabariti električnog strojevlja, povoljniji su viši naponi. S druge strane, time se povećavaju zahtjevi za boljom i skupljom izolacijom kako ne bi došlo do kvarova, kratkih spojeva i pojave električnih lukova koji mogu uzrokovati teške povrede posade, požare i eksplozije para goriva i plinova, posebice smjese zraka i vodika - praskavca. Kapacitet odnosno količina elektriciteta koju akumulator može dati zavisi od akumulatorske mase i jakosti struje pražnjenja. Specifični kapacitet akumulatora razmjerno je mali (oko 10 Ah/kg ili oko 0,03 kWh/kg) pa je za dužu podvodnu plovidbu (oko 70 do 100 sati) pri brzini 4 – 6 čv jedne tisućutonske podmornice potrebna akubaterija mase oko 200 tona. Nažalost, s istom, potpuno punom akubaterijom, zbog naglog pada napona pražnjenja, moguće je ostvariti tek oko jedan do dva sata maksimalne brzine od 20-ak čvorova. No nakon toga ostaje još dovoljno energije u akubateriji za plovidbu manjim brzinama. Akumulatorski članci se smještaju u donjem dijelu podmornice u posebne dobro ventilirane prostore - jame. Konstrukcijom i elastičnim temeljenjem članaka nastoji se povećati njihova otpornost na šokove. Elementi članka (anode, katode, separatori i elektolit) smješteni



Slika 25. Podmornički akučlanak mase i do 800 kg.

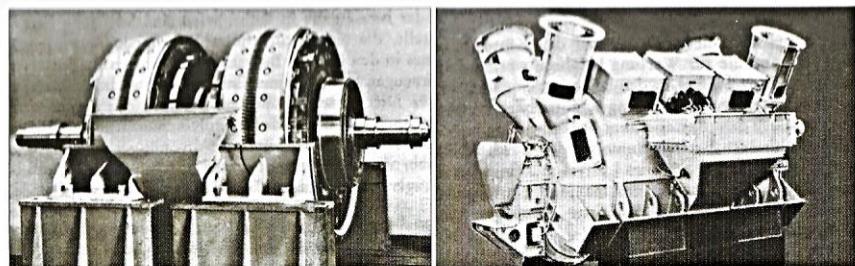


Slika 26. Smještaj akubaterije na podmornici.

su u gumenu vreću, kako se u slučaju napuknuća posude članka ne bi razlio elektrolit i izazvao opeklne na koži, povrede dišnih organa i očiju te teška oštećenja i kvarove uredaja. Trajanje podmorničke akubaterije zavisi od načina eksploatacije, redovitosti periodičnih pregleda i održavanja. U načelu iznosi oko pet godina ili oko 500 ciklusa punjenja i pražnjenja. Nakon II. svjetskog rata razvijeno je nekoliko vrsta alkaličnih akumulatora od kojih je najpoznatija srebro-cink baterija. Ona se odlikuje oko četiri puta većim kapacitetom i konstantnim naponom pražnjenja koji omogućuju dužu plovidbu pri najvećim brzinama. Nedostatak alkaličnih izvora energije je visoka cijena i skoro dvostruko veća duljina trajanja punjenja. Zbog toga se uglavnom primjenjuju na eksperimentalnim podmornicama (*USS Albacore*) i na manjim diverzantskim podmornicama ili ronilicama gdje se za obuku može upotrijebiti jeftinija olovna akubaterija.

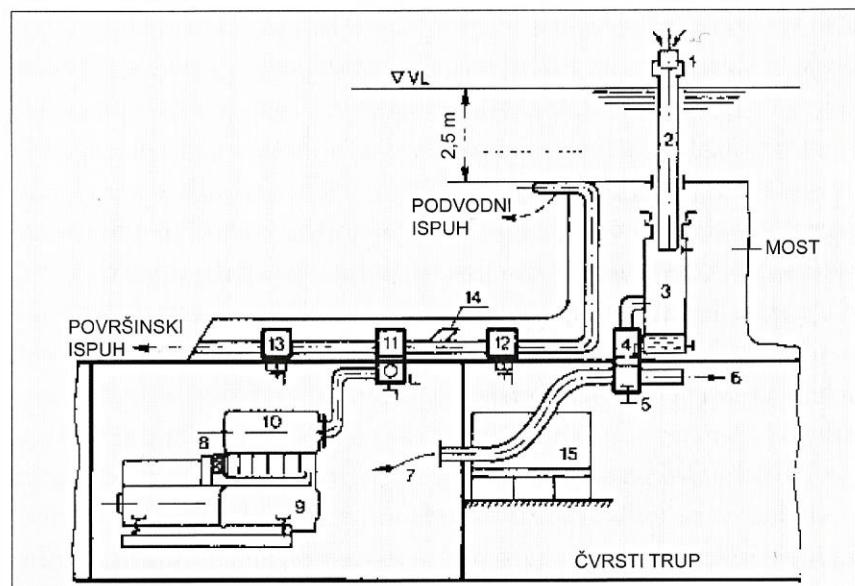
**Podmornički porivni elektromotori i generatori.** Porivni se elektromotor, zbog kompaktnosti konstrukcije te bolje regulacije broja okretaja i snage, sastoji od dvije kotve smještene na zajedničkoj osovini i u zajedničkom kućištu. Riječ je o sklopu dva nezavisna elektromotora istosmjerne struje s dva kolektora. Zavisno od međusobnog spoja akubaterija i kotvi (paralelno ili u seriji) mijenja se napon na kotvi, a time i brzina vrtnje. Fina regulacija unutar jednog režima postiže se promjenom *struje uzbude*. Uredaji za ručno upravljanje (sklopke, regulatori, instrumenti...) strojevima električne propulzije smješteni su na glavnoj rasklopnoj ploči (GRP) ili na pultu propulzije.

Porivni je elektromotor (PEM) zbog visokih napona i velikih struja tereta te glomaznih kolektora i pripadajućih pomoćnih uređaja za ventilaciju i hlađenje, razmjerno težak (oko 15 kg/kW ili preko 20 tona za snagu od oko 1500 kW). Njegov sustav hlađenja mora biti dimenzioniran za najveće dubine ronjenja, odnosno u jačini čvrstog trupa. On također mora izdržati udare bliskih eksplozija te povećane trimove i nagibe. Sve to ga čini razmjerno skupljim u usporedbi sa sličnim motorima za drugu namjenu. Na podmornicama s izravnom dizelmotornom propulzijom, porivni elektromotori, zbog punjenja akubaterija, mogu raditi i u generatorskom režimu. Primjenom brzokretnih dizelskih motora na podmornici izmijenjena je koncepcija postrojenja. Umjesto propelera, dizelski motori pri optimalnom opterećenju i konstantnoj brzini vrtnje pogone genera-



Slika 27. Podmornički porivni elektromotor.

tor koji također može biti građen u optimalnoj izvedbi ili čak u varijanti s izmjeničnom strujom s kliznim kolutima i prigradenim ispravljačkim sklopom koji je pretvara u istosmjernu struju kojom se pune akubaterije. Velika brzina vrtnje omogućuje ugradnju ventilatora na osovinu. Trajni spoj s dizelskim motorom omogućuje i druga pojednostavljenja kojima se jedinična masa generatora smanjila na 6 - 8 kg/kW.



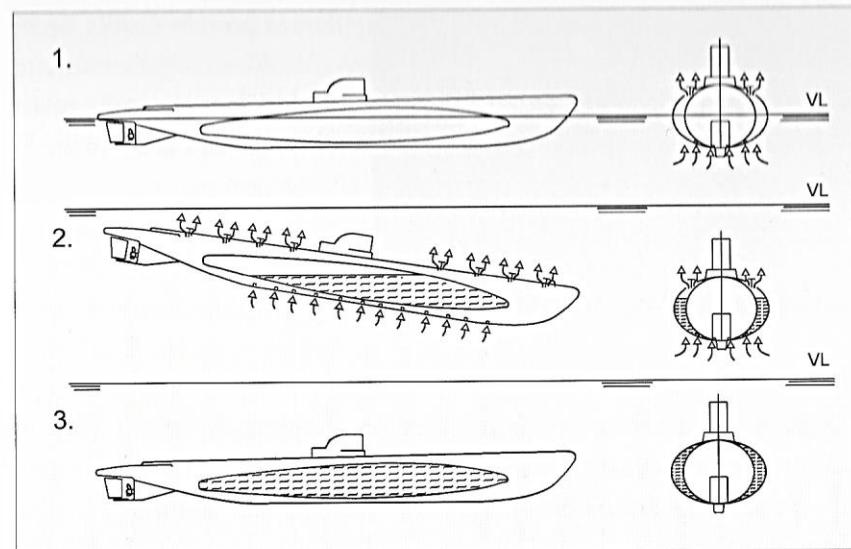
Slika 28. Uredaj za dovodenje zraka u podmornicu i odvođenje ispušnih plinova u more - šnorkl. 1 - vršni ventil šnorkla; 2 - izvlačiva cijev; 3 - separator zraka i vode; 4 - automatski usisni ventil; 5 - glavni (podnožni) usisni ventil zraka; 6 - spoj za ventilaciju podmornice; 7 - ulaz zraka u prostor motora; 8 - usis motor; 9 - dizel-generator; 10 - ispušni lonac; 11 - glavni ispušni ventil (GIV); 12 - šnorkelski ispušni ventil (ŠIV); 13 - površinski ispušni ventil (PIV); 14 - spoj za pirnu stanicu GT s ispušnim plinovima motora; 15 - pult upravljanja šnorklom i propulzijom.

**Šnorkl** je uređaj koji omogućuje rad dizelskih motora i ventilaciju podmornice koja se nalazi u zaronjenom stanju na približno periskopskoj dubini. Putem izvlačive (preklopne) usisne cijevi s automatskim usisnim vršnim ventilom, motori usisavaju zrak u podmornicu, dok se ispušni plinovi odvode preko posebnog sustava cijevi oko 2 metra ispod razine mora. Sustav automatike šnorkla omogućuje siguran rad strojeva na šnorkl dubini ronjenja i štiti posadu od većih podtlakova (oko 100 hPa odnosno oko 100 mbar) u slučaju podronjavanja i zatvaranja vršnog ventila šnorkla. Česta podronjavanja vršnog ventila na valovitom moru izazivaju nagle promjene tlakova u podmornici, pa plovidba u *šnorkelskom režimu* može biti iznimno naporna.

## PRINCIP ZARONJAVANJA

Potpuno pripremljena podmornica s provjerrenom ispravnošću svih uređaja i mehanizama i provjerenoj hermetičnosti putem *tlačne probe* te s posadom na svojim mjestima spremna je za ronjenje. Proces pripreme za zaronjavanje, stanje hermetičnosti i spremnosti svih uređaja za ronjenje prati se putem brojnih instrumenata i signalnog uređaja *otvoreno – zaprto* te izvještavanjem putem ugovorenih signala ili glasom putem unutarnje brodske veze. Na zapovijed iz centrale praćenu alarmnim zvučnim i svjetlosnim signalom svaki član posade izvršava svoj dio zadaće prema borbenom rasporedu i uvježbanim instrukcijama. U posebnim okolnostima ili nakon kratkog boravka na površini pretpostavlja se spremnost podmornice i posade za trenutno *alarmno zaronjavanje*.

Podmornica zaronjava plavljenjem glavnih tankova ronjenja, i to postupno: u nekoliko faza ili odjednom, brzim odlaskom na dubinu. Zaronjavanje u fazama primjenjuje se u iznimnim okolnostima, kao što su prvo statičko ronjenje nakon završene gradnje ili velikog remonta te zaronjavanja u plitkim vodama ili na ušćima rijeka. Brzo ili alarmno zaronjavanje je uobičajeni način zaronjavanja borbeno spremne podmornice s uvježbanom posadom. Ono se postiže plavljenjem svih tankova odjednom. Time podmornica gubi svu rezervnu plovnost sadržanu u



Slika 29. Shematski prikaz podmornice s fazama zaronjavanja:

1. Podmornica se održava na površini pomoću rezervnog uzgona koji se ostvaruje praznim glavnim tankovima ronjenja ispunjenim zrakom i djelomično naplavljениm unutarnjim tankovima. Otvaranjem plavnika i odušnika morska voda plavi glavne tankove ronjenja, dok se zrak kroz odušnike istiskuje u atmosferu. Podmornica zaronjava. Dubinska kormila postavljaju se u položaj *na dublje*. 2. Nakon zaronjavanja na periskopsku dubinu podmornica se mora pronjihatati izmjeničnim davanjem pramčanog i krmenog trima kako bi se potpuno naplavili odnosno odušili glavni tankovi ronjenja i naplavljivi prostori u nadgrađu i mostu. Nakon toga odušnici i plavnici se zatvaraju. Prije prijelaza u režim podvodne plovidbe podmornica se trimuje. Cilj je izjednačiti i uravnotežiti sile nizgona i uzgona kako bi se postiglo bestežinsko stanje *lebdenja*. 3. Podvodna plovidba.

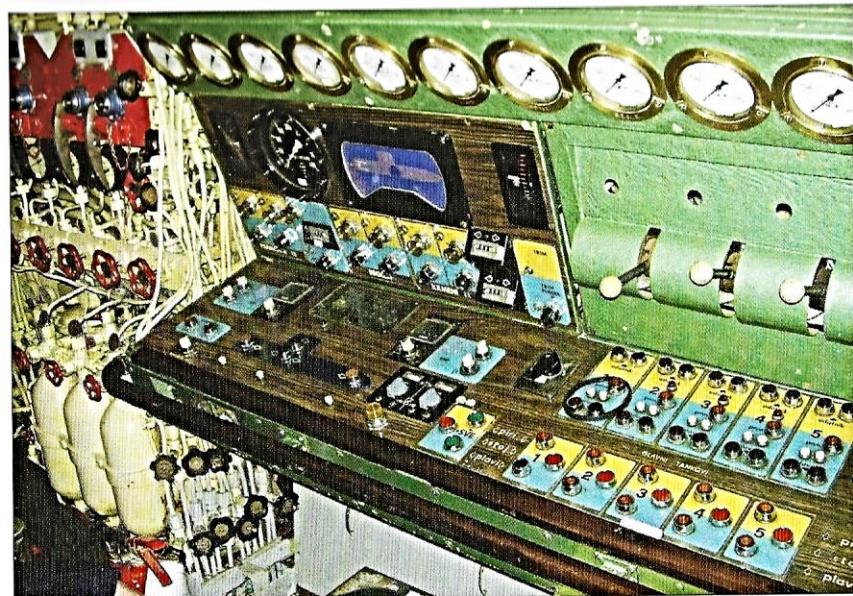
zapremini glavnih tankova ronjenja. Nuklearne podmornice, posebice strateške s balističkim raketama, nemaju potrebe često izronjavati i zaronjavati. One to uglavnom čine samo na odlasku i povratku s krstarenja ili u izvanrednim okolnostima. Stoga njihova rezervna plovnost može biti i veća.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Neke podmornice (američke, britanske...) nemaju poklopce plavnog ventila, nego samo otvore. Predtlak zraka u tanku ne dopušta plavljenje tanka. Podmornica "visi" na odušnicima koji moraju biti nepropusni i dobro osigurani, kako ne bi pogreškom izgubila rezervnu plovnost, dobila nagib, trim ili čak potonula.

## PODVODNA PLOVIDBA

**Poremećaji plovnosti.** U podvodnoj plovidbi težina podmornice jednaka je težini istisnutog mora tj. podmornica se nalazi u bestežinskom stanju. Sile uzgona i nizgona potpuno su izjednačene, a njihovi momenti uravnoteženi. Podmornica plovi u svom elementu, moru, na ravnoj kobilici, odnosno bez pramčanog ili krmenog trima, mijenjajući po potrebi brzinu, smjer i dubinu ronjenja. U podvodnoj plovidbi na podmornicu trajno djeluju dinamičke i statičke vanjske i unutarnje poremećajne sile. One su posljedica mijenjanja brzine plovidbe, utjecaja morskih struja, plovidbe u slojevima s različitom gustoćom mora, odnosno utroška pogonskog materijala, pitke vode, hrane, torpeda, mina i raketa. Posebice su opasni poremećaji koji nastaju plavljenjem prostora unutar čvrstog trupa kroz brte na otvorima trupa ili cjevovoda unutar čvrstog trupa. No najopasniji su prodori vode nastali oštećenjem oplate čvrstog trupa ili prodora kroz otvoreni poklopac silaza, neispravne zaporne ventile na cjevovodu ispuha ili usisa pogonskih strojeva. Nisu zanemarivi ni poremećaji plovnosti koji nastaju zbog sužavanja čvrstog trupa pri odlasku na veće dubine ronjenja. Glatka oplata trupa počinje se povećanjem dubine ronjenja sužavati i borati, a rebra isticati (kao na mršavom konju). Podmornica postaje zapreminski manja. Stoga je i količina istisnutog mora manja pa podmornica postaje razmjerno teža sa sklonosti kretanja na dublje. Tako podmornica s istisninom od oko 1.000 tona postaje teža za oko 5 tona na dubini od 300 m, što nije zanemarivo, pa se i zbog toga graničnim dubinama ronjenja treba oprezno približavati. Upravljanje plavnicima, odušnicima i ventilima pirenja glavnih tankova ronjenja te uređajem trima ostvaruje se s jednog mesta na trim pultu.

Manji poremećaji plovnosti i uravnoteženosti sila i njihovih momenata otklanjaju se pomoću trim uređaja. On se sastoji od sustava pomoćnih tankova (pramčani i krmeni trim tankovi, regleri, nadomjesni tankovi) međusobno spojenih sustavom cjevovoda, ventilnim stanicama, trim i drenažnim pumpama, spojevima s morem (kingstonima) te sustavima za pirenje, nadzor i upravljanje. Promjena dubine ronjenja ostvaruje se pomoću hidroplana i, ako je to potrebno, pomoću promjene količine

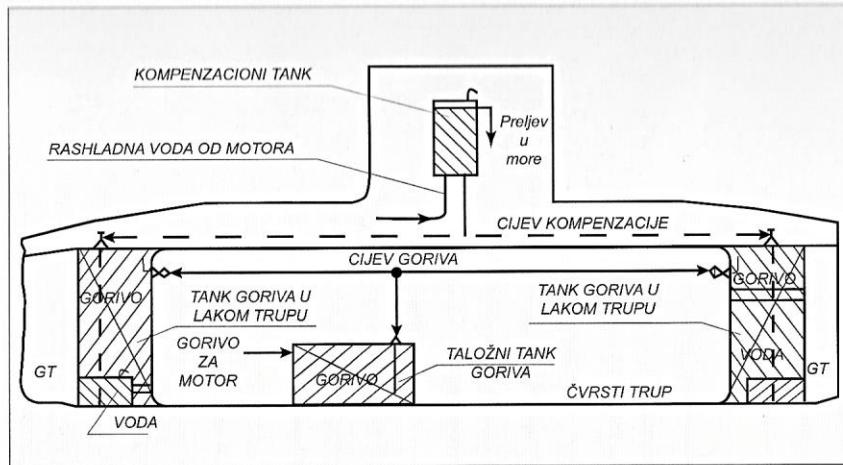


Slika 30. Trim pult na podmornici tipa P 831, Sava.

vode u *pirnom* ili *plavnom regleru*, odnosno u odgovarajućem pomoćnom tanku ronjenja ako se uz poremećenu težinu želi istodobno otkloniti i poremećeni trim. *Pirenjem*, *lencovanjem* ili *plavljenjem* pomoćnih tankova ronjenja izjednačuju se nizgonske i uzgonske sile, uravnotežuju njihovi momenti, odnosno održava podvodna plovnost podmornice.<sup>6</sup>

**Kompenzacija - nadoknada promjenjivih težina.** Za kompenzaciju težine utrošenih zaliha hrane, pitke vode, težine putnika ili utrošenih torpeda služe nadomjesni, odnosno torpedni tankovi. Težina utrošenog goriva automatski se kompenzira morskom vodom u istom tanku iz kojeg se troši gorivo. Zbog različite gustoće goriva i morske vode te se tekućine ne miješaju. Gorivo, specifične težine lakše od morske vode,

<sup>6</sup> Na svim podmornicama svijeta, zbog jednoznačnog razumijevanja zapovijedi koje se prenose glasom ili razglasom, rabe se uobičajeni razlikovni pojmovi kako ne bi došlo do zabune s tragičnim posljedicama. Primjerice, u bivšem jugoslavenskom ili danas u hrvatskom podmorničarstvu za suprotne radnje od "plavi" rabi se "piri" ili "lencuj". Isto tako suprotna radnja od "otvori" je "zapri" jer bi se zapovijed "zatvori" uz razne druge šumove i smetnje, mogla čuti i kao "otvori" što bi moglo biti kobno za posadu i podmornicu. Veći broj tako usvojenih pojmoveva nastao je iz praktičnih i sigurnosnih razloga tako da pojedine lektorske intervencije u raznim Uputama ili Pravilima za podmorničare nisu prihvatljive.



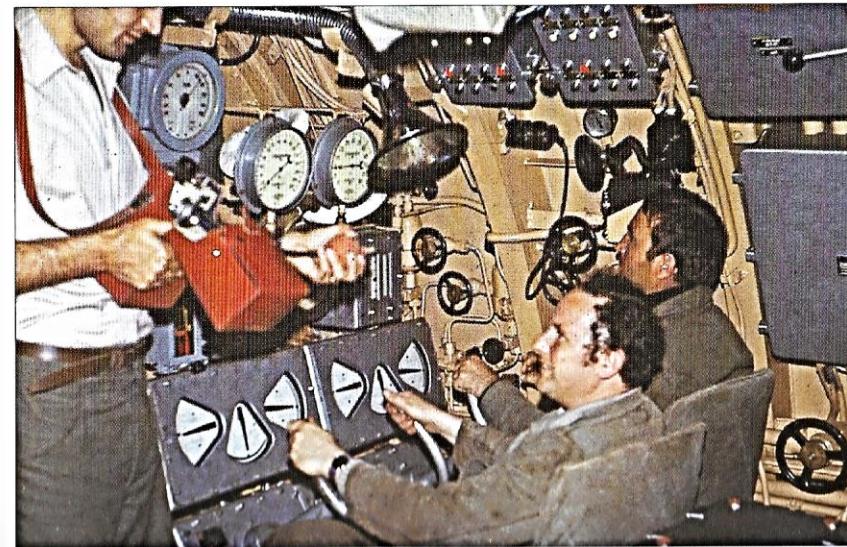
Slika 31. Shema kompenzacije goriva.

crpi se s vrha tanka, dok se more koje je teže, nadomješta putem cjevovoda s izlaznim otvorom na dnu tanka. Zbog svake utrošene tone goriva podmornica postaje oko 180 kg teža što se povremeno (pri kraju svake straže) kompenzira lencovanjem odgovarajućeg nadomjesnog tanka ili reglera.

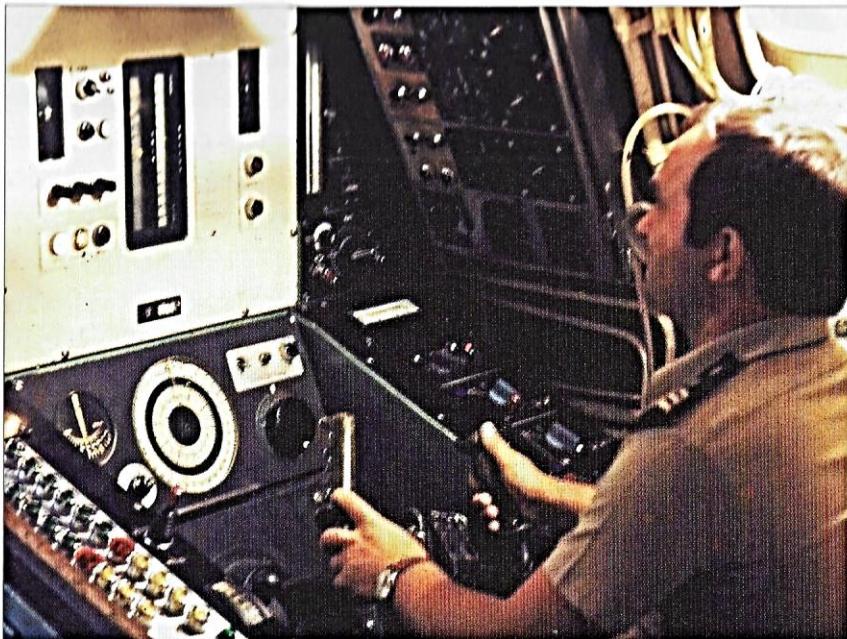
Kako bi podmornica bila trajno spremna za ronjenje, sve promjenjive težine, sadržaji pomoćnih i nadomjesnih tankova usklađuju se prema proračunu i podacima koji se ažurno vode u *Knjizi trima*. Osim toga, tijekom plovidbe unose se promjene podataka zaliha poslije svake smjene na posebnoj tablici ili u memoriji kompjutora koji se nalaze uz radno mjesto poslužitelja trim pulta. Prema potrebi, količina vode u pomoćnim tankovima usklađuje se na temelju proračuna trim momenta, kako bi se podmornicom upravljalo lako, samo pomoću djelovanja dubinskih kormila (*hidroplana*).

**Održavanje zadanog kursa i dubine.** Za upravljanje podmornice u prostoru služe joj smjerno i dubinska kormila. Smjernim kormilom mijenja se pravac kretanja u površinskoj i podvodnoj plovidbi. U načelu, podmornice imaju samo jedno smjerno kormilo smješteno okomito u uzdužnici trupa. Promjena dubine ronjenja ostvaruje se dubinskim kormilima (hidroplanima) smještenima u horizontalnoj ravni. Dubinska kormila se ugrađuju u parovima na krmi i pramcu zavisno od veličine i

tipa podmornice. Krmena dubinska kormila imaju, uglavnom, veću površinu. Pri većim brzinama i kod manjih podmornica ona su dovoljna za upravljanje podmornicom po dubini. Pramčana dubinska kormila se pri većim brzinama podvodne plovidbe (10 – 12 čv) preklapaju ili uvlače u nadgrade zbog smanjenja vibracija, sprječavanja velikih trimova i nagnutih promjena dubine. Zbog toga se kod suvremenih, brzih podmornica pramčani hidroplani smještaju bliže težištu podmornice, odnosno na mostu. Osim toga, u sustav upravljanja dubinskim kormilima ugrađuju se graničnici odnosno reduksijski uređaji otklona kormila. Pomoću njih se prije prijelaza na veće brzine, automatski ili izborom novog režima plovidbe, sprječavaju veći otkloni hidroplana od, primjerice, 5°, premda dubinski kormilar i dalje može pomicati kormilarsku palicu u uobičajenom području od +/- 25 - 30°. Hidroplani smješteni na mostu podmornice mogu se prije izronjavanja podmornice u arktičkim vodama zakrenuti u okomit položaj kako se prilikom probijanja ledenog sloja ne bi oštetili. Do pojave podmornica s većim stupnjem automatizacije podmornicom su istovremeno, ali usklađeno upravljala dva, a ponekad i tri kormilara. Podvodna navigacija znatno je složenija od površinske.



Slika 32. Pult upravljanja podmornicom tipa *Heroj*, P 821.



Slika 33. Upravljanje podmornicom Sava P 831 s uređajem automatskog pilota za održavanje zadanog kursa i dubine uključujući i lebdenje.

Bez mogućnosti vizualnog motrenja horizonta i područja plovidbe podmorničari, reklo bi se, plove naslijepo. Zbog toga oni moraju poznavati konture dna do granične dubine ronjenja kako ne bi naišli na pličinu ili udarili u neku podvodnu hrid. Kako je more i iznad njih, moraju osluškivati i raspoloživim sredstvima motriti površinu mora, gdje se mogu sudariti s površinskim brodom, uplesti u mrežu ribarskog broda ili udariti u duboko uronjeni dio ledenog brijege. Dok površinski brod u području smanjene gustoće mora (uše rijeke, ponornice ili izvora slatke vode) tek neznatno i neprimjetno promijeni samo gaz, u istom tom području podmornica se za nekoliko desetaka sekundi može, također neprimjetno (na ravnoj kobilici), naći na dubini kolapsa. Posebne opasnosti za podmornicu nastaju pri plovidbi većim brzinama. Za samo nekoliko sekundi podmornica može zbog neke smetnje (kvar dubinskih kormila, nagla promjena trima...) iskočiti na površinu mora i sudariti se s nekim brodom ili, što je još pogibeljnije, usmjeriti se k morskom dnu dubljem od njene proračunske dubine ronjenja.



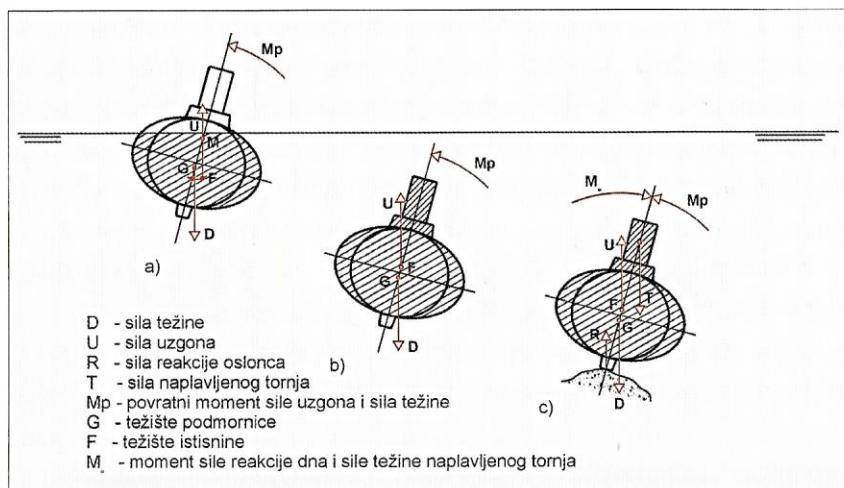
Slika 34. Pult upravljanja nuklearnom podmornicom klase SSN Los Angeles.

Zbog svega toga posade podmornica izložene su povišenoj psihofizičkoj napetosti. Kako bi im se olakšala višesatna služba *podvodne straže* i povećala sigurnost podvodne plovidbe tijekom višednevnog, višetjednog ili višemjesečnog krstarenja, razvijeni su automatski uređaji za kormilarenje, održavanje zadane dubine ronjenja i trima. K tomu se još ugrađuju sigurnosni sustavi koji se u slučaju prijelaza granične dubine ronjenja automatski uključuju i podižu podmornicu na površinu. Pritom senzori koji upravljaju podmornicom reagiraju već na samu tendenciju promjene zadanoj stanja. Time se podmornica uz manje oscilacije može zadržati na zadanoj dubini, kursu ili ravnoj kobilici bolje nego što je to u stanju učiniti čovjek. Uloga kormilara na suvremenim podmornicama svodi se na postavljanje zadanih vrijednosti i nadzor režima plovidbe putem suvremenih sustava za upravljanje i nadzor (pult upravljanja podmornicom s pilotskim uređajem, dubinskim manometrima, inklinometrima, indikatoroma položaja ili na displayu – pokazivaču), koji daju cjelovitu sliku položaja podmornice u prostoru.

# STABILITET NA POVRŠINI I POD VODOM

Podmornica na površini ima sva osnovna plovna svojstva površinskog broda: istisninu, stabilitet, nepotopivost, pokretljivost, upravljaljivost. Za nju također vrijede sve osnovne zakonitosti hidrostatike, hidrodinamike i čvrstoće, počev od opće poznatog Arhimedovog zakona do brojnih zakona s područja hidrodinamike kojima se bave znanstvene institucije, projektni uredi, ali i posade brodova i podmornica kao krajnji korisnici.

Prijelazom u podvodnu plovidbu plovna se svojstva mijenjaju, što zavisi od konstrukcije njenog trupa, pogonskog uređaja za podvodnu plovidbu i uređaja ronjenja. U podvodnoj plovidbi otpor vode je manji za veličinu otpora valova, naročito pramčanog vala, a brzina pri istoj snazi propulzije razmjerno je veća, posebice u višim režimima plovidbe. Podvodna istisnina postaje veća za rezervnu (preostalu) plovnost sadržanu u glavnim, a djelomično i u pomoćnim tankovima ronjenja. Umjesto poprečnog *stabiliteta forme* podmornicu od prevrtanja pod vodom štiti *stabilitet težine*. U jednom trenutku na prijelazu iz površinske u podvodnu plovidbu, i obratno, podmornica je bez stabiliteta, odnosno u indife-



Slika 35. Osnovna načela stabiliteta podmornice. a) na površini, b) zaronjena, c) slučaj sjedanja na dno s naplavljenim tornjem T.

rentnom položaju, a tada je najranjivija. Kako je riječ o trenutku, stvarne opasnosti od prevrtanja nema. Ipak, podmorničari poštuju tu činjenicu, osobito pri valovitom i olujnom moru, premda su se prevrtanja dogadala i u dokovima, ali iz drugih razloga (nakon znatno podignutog težišta sustava kao posljedice iskrcaja tereta, primjerice akubaterija). Podmornica se može prevrnuti i u podvodnom stanju ako, primjerice, sjedne na ivicu nekog praga, stijene ili slično oblikovanog dna i pritom još počne puniti izlaznu komoru zbog izlaska ronilaca, odnosno podvodnih diverzanata.

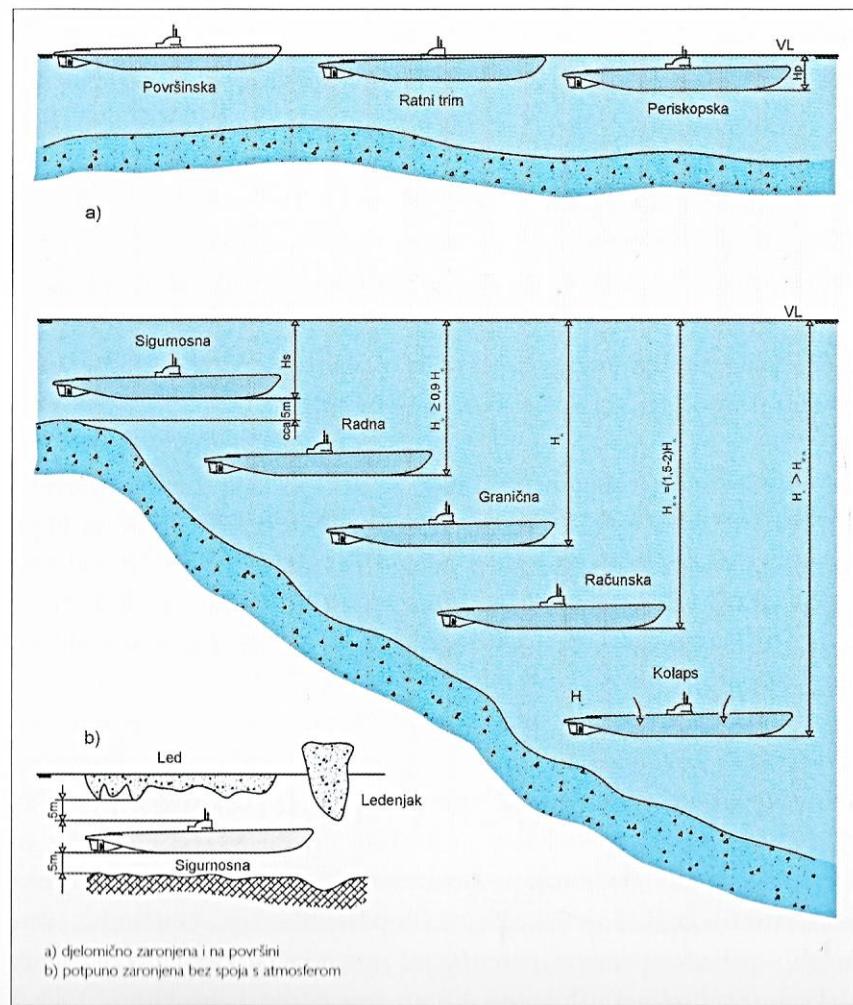
Stabiliteti forme i težine koji štite podmornicu od prevrtanja na površini odnosno pod vodom, približno su istih vrijednosti. Njihovo djelovanje odnosi se na poprečne (bočne) poremećajne sile. Međutim, nakon zaronjavajući podmornica znatno gubi vrijednost *uzdužnog stabiliteta*. Dok je na površini sposobna oduprijeti se svojim uzdužnim stabilitetom i najvećim silama razbjesnjelog mora propinjući se i ponirući sve do ruba mosta, u podvodnom stanju osjetljiva je na težinu samo jednog čovjeka koji se premješta iz krme u pramac ili obratno. To je zbog toga što se zaronjavanjem gubi *moment tromosti površine vodne linije*, što se detaljnije može objasniti pomoću složenijih zakona hidrostatike. Međutim, osjetljivost na uzdužnu stabilnost ima i svoju dobru stranu jer se s razmjerno malim otklonom dubinskih kormila (hidroplana) uzdužni nagib može po volji lako mijenjati, što znatno olakšava manevre podmornice u dubini. Plavljenjem glavnih tankova ronjenja položaj težišta forme F podiže se iznad položaja težišta sustava G čiji se položaj ne mijenja. Time stabilitet forme koji podmornicu (i svaki drugi brod) na površini štiti od prevrtanja, prelazi u stabilitet težine koji tu istu zadaču ima u zaronjenom stanju. Slučaj nezgodnog sjedanja na dno kada djeluje sprega dodatne poremećajne sile reakcije dna i težine ukrcanog mora u toranj (izlaznu komoru).

## DUBINE RONJENJA

U podvodnoj plovidbi podmornica može roniti na svim dubinama između periskopske i granične dubine ronjenja. Dubina ronjenja je vertikalni razmak od donjeg ruba kobilice do razine mora. U načelu, postoji nekoliko karakterističnih dubina ronjenja:

*Ratni trim* poluzaronjeno je stanje s djelomično naplavljenim srednjim glavnim tankovima ronjenja, dok su ostali (pramčani i krmeni glavni tankovi) potpuno naplavljeni. Iz tog stanja podmornica može zaroniti u kraćem vremenu. Danas se ono primjenjuje samo u iznimnim slučajevima (iskrcavanje i prihvata diverzanata, putnika itd.).

*Periskopska dubina* mjeri se od donjeg ruba kobilice do pola metra ispod objektiva izvučenog periskopa, čime je osigurano nesmetano motrenje horizonta.



Slika 36. Dubine ronjenja.

*Šnorkelska dubina* mjeri se od donjeg ruba kobilice do pola metra ispod sjedišta vršnog ventila usisnog stupa šnorkla. Izlazni je otvor ispušnih plinova, u načelu, oko 2,5 m ispod morske površine.

*Sigurnosna dubina* najmanja je dubina na kojoj podmornica može zaroniti bez opasnosti od sudara s površinskim brodovima ili santama leda, ali u plitkom moru i s morskim dnom. Uglavnom se kreće od 30 do 60 metara, odnosno najmanje 5 metara razmaka između najvišeg ruba njenog mosta do dna broda (ledenjaka) ili donjeg ruba njene kobilice do morskog dna. Ali je ponekad dovoljan i „deci vode ispod kobilice“ (prema žargonu iskusnih podmorničara) kako ne bi udarila u dno.

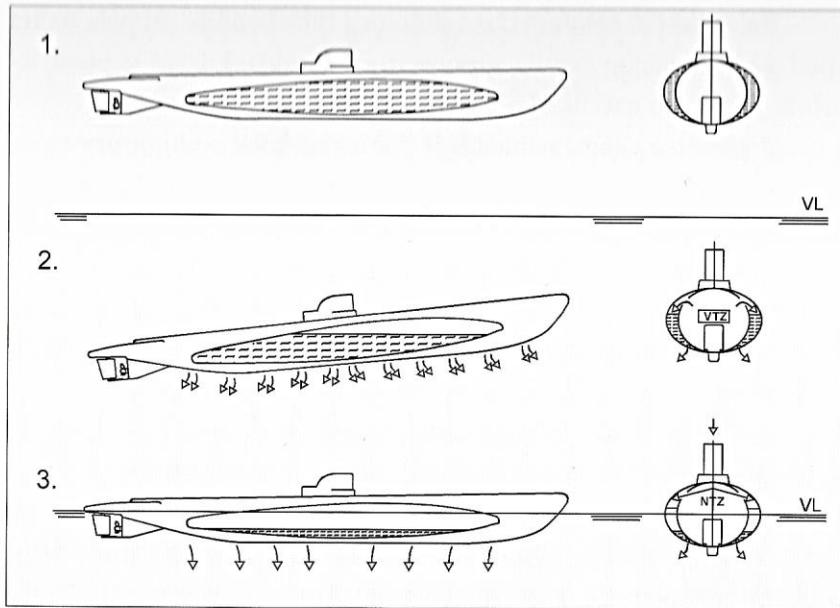
*Granična (maksimalna) dubina* najveća je dopuštena dubina do koje podmornica može zaroniti bez trajne deformacije trupa. Granična dubina se s vremenom može smanjivati ili ograničiti. Ona zavisi od stanja uređaja, izvježbanosti posade, dubine dna na području plovidbe. U načelu, podmornica odlazi na graničnu dubinu tijekom prototipnih ispitivanja i u ratnim uvjetima. U Prvom svjetskom ratu granična je dubina bila od 50 do 80 metara, u Drugom od 80 do 150, a danas je ona 400 metara, pa i više.

*Radna dubina* je ona na kojoj podmornica može biti neograničeno dugo i ploviti bilo kojom brzinom. Ona može biti najviše 60-90% granične dubine ronjenja što zavisi od stanja podmornice i hidrografskih uvjeta. Određuje se periodično ili čak za pojedinu zadaću.

*Računska dubina ili dubina kolapsa* dobiva se proračunom čvrstoće materijala pri čemu se u obzir uzima proračunski i eksperimentalno određen faktor sigurnosti materijala. Na dubinama većima od računske trup se znatno deformira i razara. U odnosu na računsku određuje se granična dubina ronjenja. Podmornica se nikada ne spušta na računsку dubinu, osim u slučaju nesreće, iako bi tek njezinim prelaskom, teoretski, došlo do razaranja čvrstog trupa.

## IZRONJAVANJE PODMORNICE

Izronjavanje može biti postupno, u fazama, ili brzo, alarmno. Kod postupnog izronjavanja podmornica prethodno dolazi na sigurnosnu



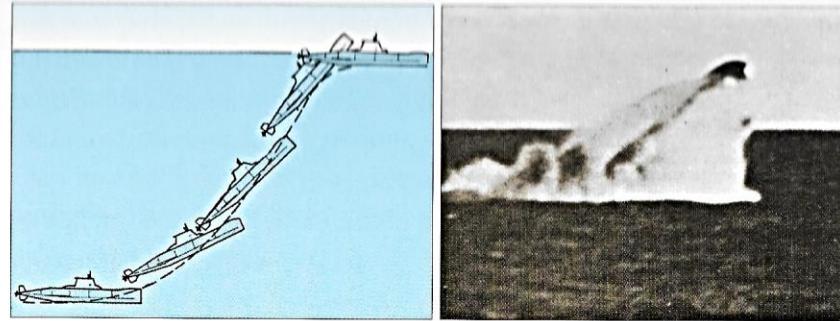
Slika 37. Faze izronjavanja:

1. Izronjavanje se postiže pirenjem glavnih tankova ronjenja zrakom iz spremnika visokotlačnog zraka (VTZ). Voda kroz prethodno otvorene plavnike struji u more. Podmornica vraća svoju rezervnu plovnost za površinsko stanje. Odušnici tankova ostaju zatvoreni (*zaprti*). Dubinska kormila postavlja se u položaj *plice*.

2. Zbog uštede visokotlačnog zraka, pirenje glavnih tankova nastavlja se niskotlačnim pirilom ili tlakom ispušnih plinova podmorničkih dizelskih motora koji mogu raditi s predtlakom od preko 1 bar (visina stupca vode oko 10-12 m). Kada se na površini pojavi zračni mjeđur, pirenje se obustavlja, a plavniči zatvaraju. Podmornica plovi ili pluta na površini mora. Balastni tankovi su prazni. Odušnici i plavniči zatvoreni.

3. Površinska plovidba.

dubinu, gdje zastaje i još jednom pretražuje čitav horizont hidroakustičnim sredstvima u režimu šuljanja. Zbog potpune sigurnosti podmornica se polagano približava periskopskoj dubini ronjenja radi motrenja površine oko mesta gdje namjerava izroniti. Zbog smanjenja utroška visokotlačnog zraka podmornica *izronjava na kormilima* povećanom brzinom s krmenim trimom od oko  $10^\circ$ , a zbog veće stabilnosti usmjerenja je pramacem u valove. Pojavom pramca i mosta na površini počinje djelomično pirenje glavnih tankova ronjenja ili samo jedne skupine tankova koja je dovoljna za stabilan položaj podmornice na površini. Potpuno pirenje glavnih tankova ostvaruje se tlakom ispušnih plinova glavnih dizelskih motora ili pirilom kod starijih tipova podmornica. Pojavom



Slika 38. Alarmno (atraktivno) izranjanje.

mjeđura zraka uz tankove ronjenja podmornica je potpuno vratila svoju rezervnu plovnost odnosno prešla u režim površinske plovidbe, te se pirenje obustavlja.

U slučaju brzog izronjavanja glavni tankovi počinju se piriti već na sigurnosnoj dubini ronjenja i to redoslijedom kojim će se postići povećani krmeni trim. Pri povećanoj brzini podvodne plovidbe s već ispirenim tankovima ronjenja podmornica *iskače* na površinu sva obavijena pjenušavim plaštem mora okružena kipućim mjeđurima ekspandiranog i (uludo) utrošenog zraka iz sustava boca VTZ-a (visoko tlačnog zraka).

Alarmno izronjavanje poduzima se u slučaju gubitka plovnosti, prodora vode, teških kvarova ili požara bez obzira na to na kojoj se dubini podmornica nalazi. U takvim slučajevima bitno je iskustvo zapovjednog kadra i posade, a često puta i instinkt, kako bi podmornica pravodobno i sigurno (bez prevrtanja) stigla do površine i izronila, pa makar i krmom.

## PODMORNIČKA MIKROKLIMA

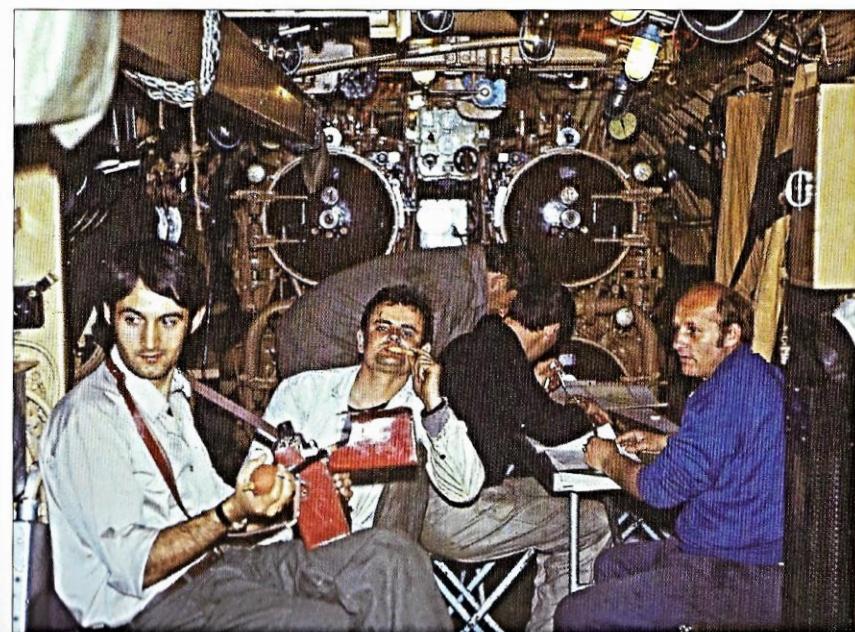
Atmosferu podmornice karakteriziraju manjak kisika, povišena koncentracija ugljičnog dioksida, visok postotak vlage, ekstremno visoke ali i niske temperature, potencijalna opasnost od razvijanja toksičnih i eksplozivnih plinova (klor, praskavac, pare goriva i eksploziva...). Promjena podmorničke mikroklime počinje se događati odmah nakon zatva-

ranja poklopaca silaza i vršnog ventila šnorkla odnosno hermetizacijom podmornice. Zbog održavanja radne sposobnosti i potrebnih životnih uvjeta posade dopušten je pad koncentracije kisika ( $O_2$ ) s normalnih 21% na 18% volumenskog udjela u zraku, te porast ugljičnog dioksida ( $CO_2$ ) s beznačajnih 0,03% do čak 2,5%, što zavisi od tipa podmornice, njezine namjene, trajanja podvodne plovidbe i intenziteta rada posade. Takvi granični uvjeti u mikroklimi podmornice srednje veličine stvaraju se već nakon 24 sata podvodne plovidbe. Kako pri pojačanoj aktivnosti posade u smjeni podvodne straže potreba za kisikom raste uz istodobno desetostruko emitiranje  $CO_2$ , podmorničarima se preporučuje da se u slobodnoj smjeni radi štednje zraka odmaraju u krevetima. Prekoračenje dopuštenih granica koncentracije plinova bilo bi opasno jer je riječ o podmuklom djelovanju na ljudski organizam. Čovjek počinje postupno duboko i usporeno disati i drijemati da bi koji trenutak kasnije zaspao zauvijek. Koncentracija plinova, posebice štetnih, otrovnih ili eksplozivnih (ugljični monoksid CO, vodik, klor, pare goriva i maziva) provjeravala se povremeno sve do pojave električnih podmornica krajem II. svjetskog rata. Instrumentarij za kontrolu nije bio dovoljno precizan ili je tražio posebnu obučenost posade za rukovanje, primjerice, s poznatim analizatorom *Orsat aparatom*. Međutim, oprezni su podmorničari više negoli instrumentima vjerovali osjetljivijima od njih – životinjama. Tako je na nekim podmornicama bijeli miš uvršten čak u popis posade (britanski A-tip). Njegovo sumnjivo ponašanje, nesvestica ili uginuće bio je znak za bijeg na površinu radi preživljavanja i dobre ventilacije prostora kako bi se mogla nastaviti podvodna plovidba. Za nadzor podmorničke mikroklime danas postoje brojni jednostavniji i precizni mjerni instrumenti. Još veća pozornost nadzoru podmorničke mikroklimi i regeneraciji zraka posvećena je podmornicama s anaerobnim pogonom u kojem kemijsko gorivo izgara u procesu kružnog toka ispušnih plinova uz primjenu lakoisparljivih oksidatora (vodikovog peroksida  $H_2O_2$  ili tekućeg kisika). Kod tog tipa podmornica pojavio se dodatni problem s viškom kisika zbog nestabilnih goriva i oksidatora. U kisikom zasićenoj atmosferi bili su dovoljni masna krpa ili masne ruke pa da izbjije požar. Pojavom nuklearnog reaktora koji ima energetski kapacitet za višegodišnju podvodnu plovidbu, razvoj uređaja za regeneraciju zraka, nadzor

podmorničke mikroklimi i održavanje drugih potrebnih životnih uvjeta naprosto je nametnut.

Za nadzor mikroklimatskih uvjeta i sastava atmosfere danas postoji automatska kontrola i registracija postotka kisika, ugljičnog dioksiда, temperature i potencijalnih toksičnih plinova. Rezultati neprekidne kontrole atmosfere prikazuju se i registriraju na odgovarajućoj sekciji kontrolne ploče u centrali. Uz to sastav atmosfere na nuklearnim podmornicama moguće je pratiti i na posebnim „ponavljačima“ u kabini zapovjednika. Uz automatski nadzor atmosfere postoje i brojni prijenosni brzi elektrokemijski i/ili paramagnetski analizatori za kisik te infracrveni analizatori za  $CO_2$ . Za otkrivanje i mjerjenje prisutnosti i količine potencijalnih toksičnih plinova (CO, klor, benzol, akrolein, sumpor vodik i dr.) koriste se odgovarajuće indikatorske cjevčice.

**Regeneracija podmorničke atmosfere.** Na klasičnim dizel-elektromotornim podmornicama koje su većinu vremena provodile na površini, a razmjerno kratko pod vodom, zrak bi se regenerirao nakon izronjenja potpunom ventilacijom prostora. Istom metodom služile su



Slika 39. Mjerenje koncentracije štetnih plinova u torpednom odjeljku podmornice tipa *Heroj*.

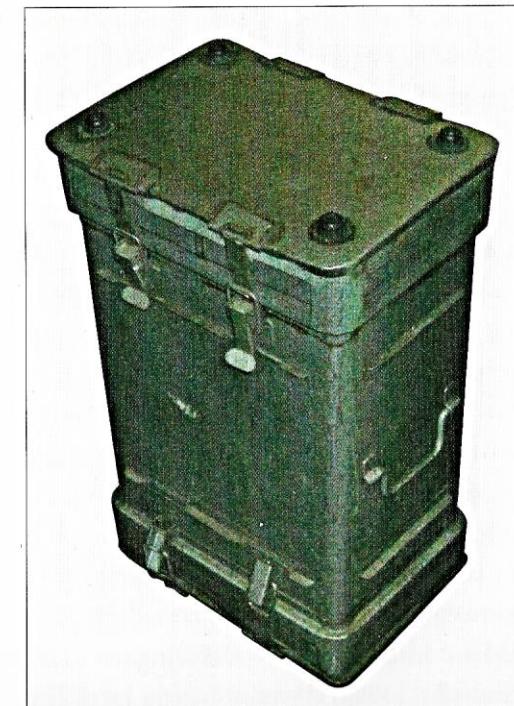
se zaronjene podmornice opremljene šnorklom na kojima se zbog istodobnog punjenja akubaterija zrak dijelio s potrebama dizelskih motora. Koliko je to bilo uspješno pokazuje dvomjesečna (66 dana) senzacionalna plovidba *U 977* iz baze u Norveškoj do ušća La Plate u Južnoj Americi na kraju II. svjetskog rata. U slučaju planiranog ili nepredviđenog dužeg boravka pod vodom (s ležanjem na dnu) nije se smjelo čekati provjetravanje na površini već bi se pravodobno počelo s doziranjem kisika iz čeličnih spremnika pod tlakom i apsorbiranjem CO<sub>2</sub> na natronskom vapnu u specijalnim patronama (tzv. kalijeve patronе) postavljenim na usisima cjevovoda ventilacije pri dnu svakog prostora.

Istodobno s pojavom dizel-električnih podmornica nakon II. svjetskog rata čiji je kapacitet akubaterija omogućavao višednevnu podvodnu plovidbu, razvijena su nova sredstva za regeneraciju zraka, svijeće (candles) na bazi natrijevog klorata. Svijeće u posebnim uređajima uz prisustvo katalizatora (željeza i barijevog oksida) proizvode potrebnu količinu kisika visoke čistoće. Jedno od rješenja koje je uvedeno i na podmornicama bivše SFR Jugoslavije razvijeno je u bivšem SSSR-u. Riječ je o materiji zaštićenog naziva V-64 na bazi kalijeve superoksidna. Regenerativno sredstvo je pločastog oblika slično oblatama. Nakon vađenja iz hermetički zatvorene kutije od pocinčanog lima ploče se postavljaju u prenosivu regeneratorsku kutiju. Na regeneratorskim pločama istodobno se upija štetni CO<sub>2</sub> i proizvodi životno potrebni kisik. Regeneracija zraka je bešumna, bez ventilacijskih sustava, a tijekom procesa ne troši se energija. Regeneratorske kutije su prenosive i postavljaju se tamo gdje najmanje smetaju. Taj način regeneracije ima i svoje nedostatke zbog zapaljivosti materije u dodiru s vodom, masnoćama i plastičnim tvarima. Osim toga povremeno je potrebno angažirati dio posade za pražnjenje i punjenje regeneratorskih kutija i kontrolu atmosfere, jer se promjenom broja ljudi u pojedinom prostoru narušava proračunati režim regeneracije, pa može doći do prekomjerne koncentracije kisika što znatno povećava opasnost od požara.

Otvorni ugljični monoksid CO koji se stvara nepotpunim izgaranjem goriva spaljuje se u posebnim uređajima tako da se pretvara u CO<sub>2</sub> i potom apsorbira na već opisani način. Neugodni mirisi i aerosoli, uljne pare, prašina, odstranjuju se provodenjem zraka kroz filtre

s aktivnim ugljenom. Iznimno opasni vodik koji se intenzivno razvija pri pojačanim režimima punjenja i pražnjenja akubaterije odstranjuje se izgaranjem u eliminatorima vodika razmještenim po svim odjelicima. U suvremenim dizel-električnim podmornicama s pomoćnim anaerobnim pogonom na bazi motora Stirlingovog tipa ili gorivnih ćelija koji omogućuje višestruku podvodnu plovidbu, dopuštena je koncentracija kisika u granicama od 18 do 23%, a CO<sub>2</sub> do 1,3% u podvodnoj plovidbi kraćoj od tri dana, a do 0,8% ako traje duže.

U nuklearnim podmornicama, gdje ima dovoljno energije, primjenjuje se elektroliza prethodno destilirane morske vode za proizvodnju kisika. Nusprodukt u tom procesu je eksplozivni vodik koji se spaljuje ili izbacuje u more. Ugljični dioksid se odstranjuje u specijalnim apsorberima. Regeneracijski uređaji rade tijekom cijelog krstarenja. Kontrola zraka je trajna, automatska i relativno jednostavna. Koncentracija plinova se mjeri u svim prostorima, a prikazuje istodobno na kontrolnom panelu u centrali i kabini zapovjednika. Uz sve to postoje i uređaji koji svjetlosnim i zvučnim signalima upozoravaju posadu na prisutnost štetnih tvari iznad dopuštene granice. Na nuklearnim podmornicama trajno se održava atmosfera s udjelom kisika od 20,5 do 22,5%, ugljičnog dioksida do 0,5%, relativne vlažnosti oko 50% pri temperaturi prostora od 20 do 22°C. Time su na nuklearnim podmornicama osigurani uvjeti slični onima u klimatskim lječilištima.



Slika 40. Regeneratorska kutija s pločama V-64 za regeneraciju zraka u podmornici.



Slika 41. Pogled s krme prema pramcu u unutrašnjost čvrstog trupa britanske podmornice tipa *H* iz 1912. godine.