

H_1 linije 1–2 u liniji 3–4 inducirat će se električno polje E''_2 u skladu s Maxwellovom jednadžbom:

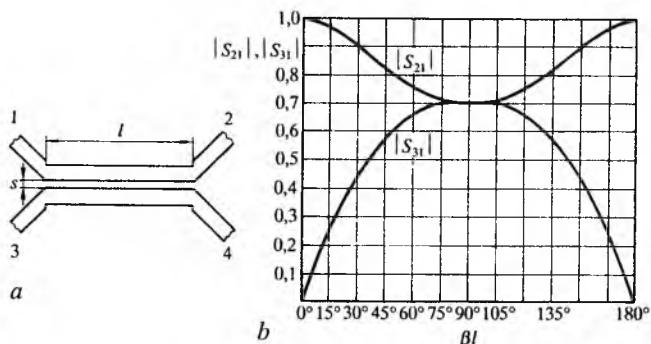
$$\text{rot } \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}. \quad (74)$$

Kako u ravnini P_1 magnetno polje ima maksimum ($\partial H / \partial t = 0$), to će inducirano električno polje E''_2 u toj ravnini biti nula, dok je lijevo i desno od te ravnine polje suprotnoga smjera (sl. 34 b). Vrijednost tog polja ovisi o razmaku vodiča i frekvenciji, koji se mogu tako odabrati da se polja E'_2 i E''_2 na prolazu 4 ponište, a na prolazu 3 potpomažu. Prema tome, s prolaza 1 snaga se prenosi na prolaze 2 i 3, a na prolaz 4 se u idealnom slučaju ne prenosi (sl. 34 c). Takav tip četveroprolaznog sklopa (tzv. sprežnik) vrlo je raširen u tehniци mikrotrakastih linija (sl. 35 a). Raspršni su parametri $S_{11} = 0$, $S_{41} = 0$,

$$S_{21} = \frac{\sqrt{1-k^2}}{\sqrt{1-k^2} \cos \beta l + j \sin \beta l}, \quad (75)$$

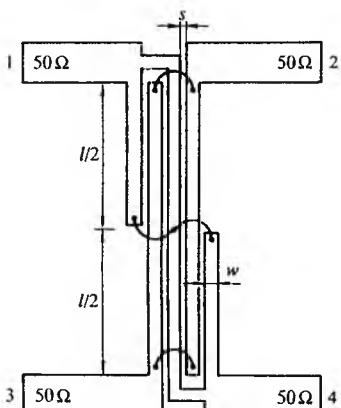
$$S_{31} = \frac{jk \sin \beta l}{\sqrt{1 - k^2} \cos \beta l + j \sin \beta l}, \quad (76)$$

gdje je k ovisan o elektromagnetnoj spreziji. Iz jednadžbi (75) i (76) vidi se da će $|S_{31}|$ imati maksimum, a $|S_{21}|$ minimum kada su duljine linija neparni višekratnici četvrtine valne duljine. Ovisnost $|S_{21}|$ i $|S_{31}|$ o električnoj duljini linija prikazana je na slici 35 b.



Sl. 35. Sprežnik načinjen od dviju spregnutih linija. *a* izvedba u tehnički mikrotrakaštih linija na substratu debljine *h*, *b* ovisnost raspršnih parametara o električnoj duljini spregnutih linija

U mikrovalnoj tehnici, posebno pri izgradnji balansnih pojačala, čest je četveroprolazni sklop i *Langeov sprežnik*. On se sastoji od četiriju paralelnih mikrotrakastih linija, s time da su dvije i dvije (svaka druga) međusobno paralelno spojene (sl. 36). Ulazna se snaga također s prolaza 1 dijeli popola na prolaze 2 i 4, dok na prolazu 3 nema signala. Zbog simetrije analogan zaključak vrijedi i za sve ostale prolaze koji se upotrebljavaju kao ulazni.



Sl. 36. Langeov sprčnik izveden u tehniči mikro-trakastih linija

Prijelazi između različitih prijenosnih medija. U tehnički raspodijeljenih parametara, već prema frekvenciji, snazi i vrsti

primjene, upotrebljavaju se razni prijenosni mediji unutar ili između sustava. Najstariji su dvožični vod bez oklopa ili s oklopom, zatim koaksijalni vod te valovod pravokutnog, kružnog ili eliptičnog presjeka. Usavršavanjem tehnologije tiskanih pločica i integriranih sklopova pojavile su se u mikrovalnom području simetrične i asimetrične trakaste linije, a zatim i posebni oblici kao koplanarna linija, prezerna linija i niz novijih medija prikladnih za prijenos u milimetarskom valnom području. Vrlo često postoji potreba prijelaza s jednog medija na drugi uz što manje gubitke i refleksije. Za to se primjenjuju različiti tipovi prijelaza. Povjesno je najstariji prijelaz koaksijalnog voda na pravokutni valovod. Vrlo je važan i rotacijski valovodni spoj, bez kojeg se ne bi moglo ostvariti okretanje radarske antene. Središnji su dio takva spoja dva segmenta kružnog valovoda koji mogu neovisno rotirati oko zajedničke osi, a dimenzionirani su za prijenos TM_{01} moda. Gore i dolje su pravokutni valovodi čvrsto vezani sondama na pripadne segmente kružnih valovoda.

Za prijenos u pojedinim frekvencijskim opsezima služe valovodi različita presjeka. Na mjestu preklapanja dvaju susjednih frekvencijskih opsega mogu se upotrebljavati valovodi različitog presjeka, a i unutar jednog opsega se katkad upotrebljavaju pravokutni valovodi s reduciranoj visinom. Da bi se moglo prijeći s jednog presjeka na drugi, upotrebljavaju se valovodni prijelazi koji su slični nehomogenim linijama. Najpovoljniji je prijelaz s eksponencijalno promjenljivim presjekom, ali se vrlo složeno izvodi. Zbog toga se redovito upotrebljavaju prijelazi s linearno promjenljivim presjekom uz moguće dodatne kompenzacije refleksija.

Pri povezivanju antena s odašiljačima valovodi često moraju mijenjati smjer. Za to se upotrebljavaju posebno izrađeni odsječci valovoda kojima su izmjere tako odabранe da imaju minimalnu refleksiju i redovito spajaju dva valovoda pod pravim kutom.

LIT.: *P. M. Chirlian*, Basic Network Theory. McGraw-Hill, New York 1969. – *T. R. Cuthbert, Jr.*, Circuit Design Using Personal Computers. J. Wiley and Sons, New York 1983. – *Vlach Jiri Singhals Kishore*, Computer Methods for Circuit Analysis and Design. Von Nostrand Reinhold, New York 1983. – *H. Baher*, Synthesis of Electrical Networks. J. Wiley and Sons, New York 1984. – *Z. Smrkic*, Mikrovalna elektronika. Školska knjiga, Zagreb 1986. – *B. Modlic, I. Modlic*, Pojačala snage. Školska knjiga, Zagreb 1992. – *M. W. Mendley*, Microwave and RF Circuits: Analysis, Synthesis and Design. Artech House, Boston-London 1993.

E. Zentner

TRGOVAČKI BROD, plovni objekt za prijevoz tereta i putnika. Brodovi se općenito razstavljaju prema različitim kriterijima, npr. prema namjeni, području plovidbe, veličini, nadgrađu, vrsti propulzije itd. (v. *Brod*, TE 2, str. 157). Uobičajena je podjela trgovačkih brodova na teretne i putničke. U širem se smislu u trgovачke brodove ubrajaju i svi ostali brodovi koji nisu ratni, npr. brodovi za negospodarske svrhe i brodovi specifičnih pomorsko-gospodarskih djelatnosti (v. *Brodovi, specijalni*, TE 2, str. 428). U specijalne se brodove mogu ubrojiti i trajekti ako se smatraju sastavnim dijelom cestovne ili željezničke mreže (v. *Brodovi, specijalni*, TE 2, str. 478).

Splav je prvi oblik plovila koji je čovjek sagradio, a velik je napredak bio čamac izdubren u deblu. U brončano doba grade se veći brodovi, ali ni za brodove mlađeg željezognog doba nisu detaljnije poznati njihovi oblici, dimenzije i oprema. Egipćani su u davnini gradili brodski trup od papirusa, a drvo su počeli upotrebljavati nešto prije početka I. dinastije. Kasnije se pojavljuje i jedra i vesta. Prvi začetak grčke galije poznat je još s početka željezognog doba, a već oko -700. veliki su trgovачki brodovi bili dugi 16...20 m. U Rimljana su veliki trgovaci brodovi bili iznimka, jer su robu na dugim i opasnim putovanjima prevozili ratni brodovi.

O trgovackim brodovima ranog srednjeg vijeka nema mnogo detaljnih podataka. U Šredozemljtu su bile vrlo raširene galije, a Atlantskim oceanom plovile su nave, brodovi na jedra, pa karake, karavelce, galijuni itd. U XVII. st. brodovi su čvršći, zatvoreni i u boljih plovodbenih svojstava. Krajem XVIII. st. brzina brodova izbjiga u prvi plan, grade se brze trgovacke fregate i kliperi. Posve novo doba u gradnji trgovackih brodova nastupilo je na početku XIX. st., kada se na brod uvodi parni pogon i kada željezni brodovi zamjenjuju drvene brodove.

Hrvati su već oko 600. godine plovili istočnom obalom Jadrana, a početci njihove brodogradnje nastavljaju se na tradiciju Liburna. Razdoblje većeg i uspješnijeg

razvoja vezano je uz IX., X. i drugu polovicu XI. st. Mletački pritisak i okupacija usporili su razvitak pomorstva u XIII. i XIV. st., pa su time bila pogodena i brodogradilišta. U Dalmaciji se u početku XV. st. brodogradnja ponovno razvija, i to i u mjestima izvan glavnih luka, npr. na Hvaru i Korčuli, koja su se i u XVI. st. pod mletačkom vlašću održala i specijalizirala za gradnju manjih i srednjih brodova skoro za čitavu Dalmaciju. Jednako se tako uspješno razvijala i brodogradnja u Dubrovniku što je išlo usporedno s usponom njegova pomorstva u XVI. st. Istodobno je zbog provale Turaka i borbe s njima u zaledu brodogradnja u Hrvatskom primorju dosta zaostala.

U XVII. st. Venecija dopušta Korčuli gradnju brodova neograničene tonaze, a i kvarnerska se brodogradilišta jače pokreću. U XVIII. st. i Rijeka, uz Senj, zauzima jedno od vodećih mjeseta, dok brodogradnja u Dalmaciji zaostaje zbog iscrpljenosti lokalnih izvora grude.

U XIX. st. naša gradnja jedrenjaka još je uvijek uspješna zbog niske cijene drva, niskih nadnica i relativne visoke tehničke izobrazbe konstruktora. Međutim, krajem tog stoljeća i u nas su parobrodi prevagnuli nad jedrenjacima, pa uskoro gradnja velikih drvenih brodova posve prestaje. Prvi željezni brod u Hrvatskoj nabavljen je 1879. godine.

Razvitak gradnje željeznih brodova u nas započinje ozbiljnije tek 1930-ih godina, a poslije Drugoga svjetskog rata započelo se s izvozom brodova 1956. godine. U sljedećim se godinama brodogradnja intenzivno razvila i potvrdila u svijetu, pa se i danas, sa svojim tridesetak brodogradilišta, hrvatska brodograđevna industrija po svojim proizvodnim mogućnostima ubraja među prvi deset u svijetu. Godine 1964. osnovano je Udruženje pomorske brodogradnje *Jadranbrod*, sa stalnim sjedištem u Zagrebu. Tijekom godina Jadranbrod se transformirao u Združeno poduzeće, pa u Poslovnu zajednicu, a 1991. postaje Društvo s ograničenom odgovornošću pod nazivom Jadranbrod – Hrvatsko brodograđevno društvo.

Okosnicu *Jadranbroda* uvijek je činilo pet naših najvećih brodogradilišta: *Brodograđevna industrija Uljanik* (Pula), *Brodograđevna industrija 3. maj* (Rijeka), *Brodogradilište Kraljevica*, *Brodogradilište Trogir* i *Brodograđevna industrija Split*.

Karakteristično je za sva brodogradilišta, članove Jadranborda, da nisu usko specijalizirana, nego da od trgovačkih brodova grade praktički sve tipove. Proteklih je godina najviše izgrađeno višenamjenskih brodova za opći teret, zatim brodova za rastresiti teret, tankera za naftu i kemikalije, kombiniranih brodova za suhi i tekući teret, kontejnerskih i kontejnerskih orientiranih brodova, putničkih brodova i brodova za prijevoz tereta na kotačima. Građeni su i tegljači različitih veličina i namjena, jaružali, brodovi za živu stoku, za hladeni teret itd. Najveći su brodovi izgrađeni u *Uljaniku* – serija kombiniranih brodova za tekući i suhi teret nosivosti 225 000 i 260 000 t. Ti su brodovi sagrađeni i porinuti u dva dijela, a potom spojeni u moru. *Riječki 3. maj* istaknuo se u gradnji kontejnerskih brodova, *Split* putničkih brodova, dok je *Trogir* postao jedan od vodećih europskih graditelja plovnih dokova. U 30 godina postojanja Jadranbrod je za domaće i inozemne narucitelje izgradio oko 800 brodova. Hidrodinamičke značajke, odnosno otpor i propulzija većine tih brodova ispitani su u Brodarskom institutu u Zagrebu.

Proteklih su desetljjeća nastale znatne promjene veličine, izgleda i u glavnih značajki trgovacačkih brodova (tabl. 1). Naziv je trgovacačkog broda obično određen vrstom tereta, npr. kontejnerski brod, tanker za kemikalije itd. Podjela brodova prema namjeni nije uvijek jednoznačna jer jedan tip broda može obavljati više poslova istodobno, npr. trajekt za automobile i putnike koji prima teret na prikolicama postaje brod za prijevoz tereta na kotačima, tzv. ro-ro brod.

Tablica 1

ZNAČAJKE TRGOVAČKIH BRODOVA

Vrsta broda	Nosivost t	Brzina čvor	Propulzijska snaga kW	Snaga električne centrale kW
Brod za opći teret	10 000–25 000	14–20	5 000–12 000	600–1 800
Brod za rastresiti teret	3 000–250 000	11–16	2 000–12 000	210–3 600
Tanker za naftu	80 000–550 000	14–16	12 000–30 000	1 800–6 000
Tanker za naftne prerađevine	3 000–60 000	13–16	2 000–12 000	450–3 000
Tanker za kemikalije	3 000–40 000	13–17	2 000–12 000	450–1 800
Tanker za ukapljeni plin (obujam tankova 25 000–135 000 m ³)		14–20	6 000–35 000	600–5 400
Kontejnerski brod	15 000–65 000	16–25	10 000–40 000	6 000–15 000
Brod za prijevoz tereta na kotačima	800–18 000	15–25	1 500–20 000	300–6 400
Nosač za tegljenice	30 000–40 000	18–22	20 000–26 000	400–3 000
Brod za hladeni teret (kapacitet skladišta 2 200–17 000 m ³)		14–24	1 500–16 000	450–3 600
Putnički linijski brod (100–2 000 putnika)		16–30	3 000–80 000	1 000–5 000
Trajekt za vlakove	1 200–12 000	16–20	4 000–14 000	2 000–4 000
Trajekt za automobile i putnike	600–3 500	15–25	2 000–36 000	1 200–6 000
Brod za krstarenje (100–2 600 putnika)		10–22	2 000–32 000	240–12 000

Razvoj tehnologije potaknuo je gradnju brodova s većim kapacitetom i većom brzinom plovidbe te bržim pretovarom u lukama. Što je nosivost broda veća, to su transportni troškovi po toni-milji manji, pa se time objašnjava stalni porast veličine brodova (tabl. 2). Osobito su se povećale glavne izmjere i snaga pogonskih strojeva tankera i drugih brodova za rastresiti teret. Taj je porast kulminirao 1976. godinom *Batillusa*, tankera za naftu nosivosti 553 000 t, što je do tada bio najveći ikada izgrađeni brod.

Tablica 2
USPOREDBA TRANSPORTNIH TROŠKOVA RAZLIČITIH PRIJEVOZNIH SREDSTAVA

Prijevozno sredstvo	Transportni troškovi po toni-milji prema troškovima 10-tonskog kamiona
Lebdjelica	7,80
Zrakoplov	4,40
Kamion (10t)	1,00
Vlak (500t)	0,03
Brod (100 000t)	0,006

BROD ZA OPĆI TERET

Brod za opći teret služi za prijevoz raznovrsne robe u vrećama, kutijama, kontejnerima i na paletama, rastresitog tereta poput žitarica i rude ili biljnih i drugih ulja. Brodovi za opći teret jesu linijski brodovi, općenamjenski i višenamjenski brodovi, brodovi za palete, brodovi za teški teret itd.

Značajke broda za opći teret. U posljednjih 35 godina nije bilo znatnih promjena veličine i brzine broda za opći teret. Osim nekoliko iznimaka, duljina im je ostala 130–170 m, a nosivost 10 000–25 000 t. Brzina je linijskog teretnog broda ~18 čvorova, a općenamjenskog 14–16 čvorova, s odstupanjima prema specifičnim zahtjevima službe. Koeficijent istisnine (omjer obujma istisnine broda i obujma pravokutnog paralelepipeda kojem su bridovi jednak duljini, širini i gazu broda) iznosi 0,55–0,78, s time da je za linijski brod najčešće ~0,60, a za općenamjenski ~0,70.

Povećanjem grotlenih otvora ubrzao se pretovar i osigurao bolji pregled tereta u skladištima. Grotleni otvori zauzimaju ~60% površine palube, što omogućuje izravno vertikalno spuštanje tereta u skladišta, pa su horizontalni pomaci svedeni na najmanju mjeru. Posljedica većih grotlenih otvora jesu veća masa i cijena grotlenih poklopaca te mogući veći prodor vode u skladišta preko palube. Također se suzio palubni pojас, što se, radi čvrstoće, moralo nadomjestiti deblijim limovima, jakim uzdužnjacima pa i primjenom čelika veće čvrstoće. Poprečne nepropusne pregrade obično su ravne izvedbe sa zavarenim ukrepama. Krajnje pregrade imaju ukrepe s vanjske strane, tj. na strani strojarnice, odnosno pramčanog vršnog tanka, tako da je ploha prema skladištu glatka. Brod obično ima 4 ili 5 skladišta, iznimno 6. Strojarnica je najčešće smještena posve pri krmi pa najpravilniji dio brodskog prostora ostaje za teretna skladišta.

Linijski teretni brod jest brod za opći teret koji plovi između zadanih luka i po određenom plovidbenom redu neovisno o količini tereta. Vrsta i količina tereta specificirani su u dovoljno uskim granicama da projektant može osnovati brod prikladne veličine i snage. Taj brod ima prvorazrednu pretovarnu opremu, dobre sustave za provjetranje tereta i poluautomatske sustave za upravljanje te se ubraja u najučinkovitije teretne brodove. Nominiran je za prijevoz različitog tereta, od sirovina do poluproizvoda i gotovih proizvoda, a može biti specijaliziran i za jednu vrstu tereta, npr. za drvenu građu, kolute papira, živu stoku itd. Neki linijski teretni brodovi imaju kabine za putnike, najviše 6 dvokrevetnih kabina. Nosivost je linijskog teretnog broda 12 000–20 000 t, a brzina mu doseže 20 čvorova.

Općenamjenski teretni brod (trammer) prevozi raznovrsni komadni i rastresiti teret, nema ustaljenu relaciju, područje ni red plovidbe, već plovi prema zahtjevima tržišta.

Standardiziran i serijski građen općenamjenski teretni brod danas je važan za prijevoz rastresitog i općeg tereta. Njegova je prethodnica višenamjenski parni teretni brod nosivosti 10 000 t, poznat pod zajedničkim imenom *Liberty*. Gradio se

u SAD za vrijeme Drugoga svjetskog rata s namjerom da se nadoknade gubici trgovačkog brodovlja zbog djelovanja njemačkih podmornica. Kobilica prvog takvog broda položena je u travnju 1941. godine. Od 4900 trgovačkih brodova koji su u američkim brodogradilištima izgrađeni za ratne potrebe njih 2 700 bilo je tipa *Liberty*. To su bili jednostavni dvopalubni brodovi, s pet skladišta, zavareni izvedbe trupa s poprečnim rebrima, brzine 10–11 čvorova, snage ~1800 kW i malog potroška goriva.

Općenamjenski teretni brod prihvata teret neuobičajenih izmjera i poslužuje luke u koje obično ne zalaze linijski teretni brodovi. Opremljen je samaricama nosivosti 5–10 t, a često i jednom samaricom nosivosti 100 t ili više. Katkad ima jedno posebno dugi grotlo za teret iznimno velikih izmjera. Širina je broda veća da bi se osigurao stabilitet pri rukovanju teškim teretom, odnosno pri krcanju na gornju palubu, a gaz je umjeren radi pristupa u što veći broj luka. Budući da za tu službu nije potrebna velika brzina, općenamjenski teretni brodovi punijeg su oblika i manje snage nego teretni linijski brodovi, s manjim troškovima po toni nosivosti, kako u konstrukciji tako i u službi. Nosivost je općenamjenskog teretnog broda 12 000–14 000 t, a brzina ~14 čvorova.

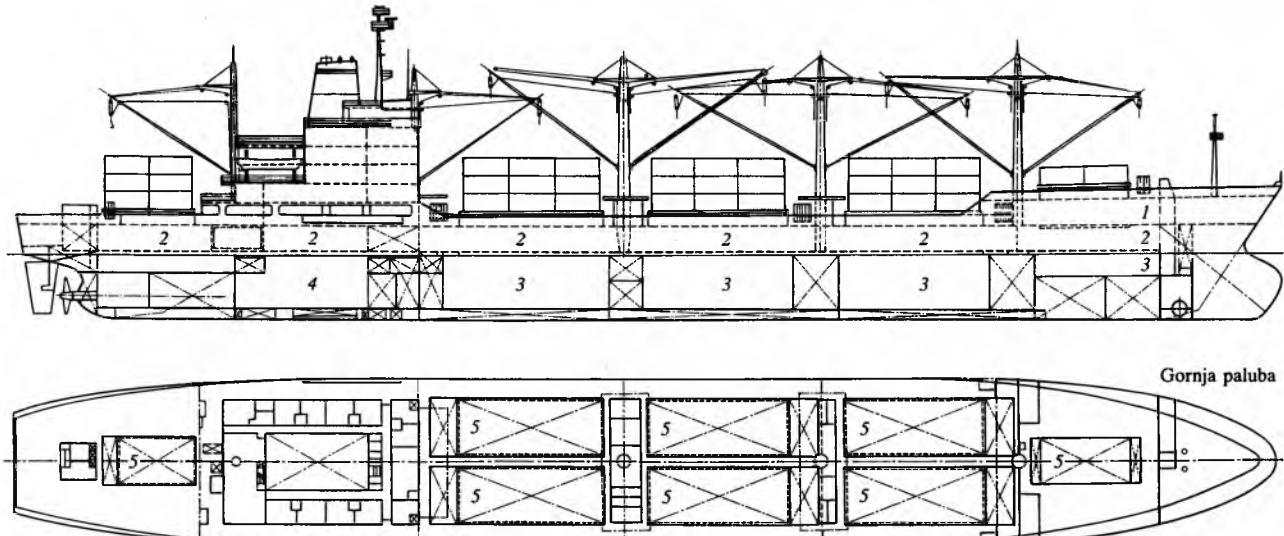
Višenamjenski teretni brod nastao je od konvencionalnoga linijskog teretnog broda i danas je najčešći brod u linijskoj službi (sl. 1). Zadržao je vlastiti uredaj za pretovar, znatno povećanog

ra. Međutim, pogodan je za one luke koje još nemaju terminale i opremu za pretovar kontejnera.

Brod za palete ima skladišta prilagođena brzom utovaru i istovaru paleta. Paleta je dvoplošna pravokutna teretna platforma normirane veličine, s ukreplnim elementima umetnutim između donje i gornje plohe, ili ploča s ukreplnim elementima samo s donje strane. Palete su uglavnom drvene, ali mogu biti i od metala i plastike. Paletizirani teret povećava faktor slaganja, što ne ovisi samo o gustoći robe nego i o načinu njezina skladištenja u brodu. Dodatni gubitak skladišnog prostora nastaje u krajnjim skladištima zbog oblika trupa, pa treba računati s ukupnim gubitkom skladišnog prostora do 25%, kadšto i više. Dva su glavna tipa brodova za palete: s vertikalnim i s horizontalnim krcanjem.

Brod za palete s vertikalnim krcanjem ima otvorenu palubu s velikim grotlima i malim razmakom između rubova otvora i stjenki skladišta, tako da je horizontalno podvlačenje tereta svedeno na najmanju mjeru. Kadšto postoje i dvojna grotla kako bi se izbjegli preveliki i teški poklopci te poboljšala čvrstoća. Teretni su prostori prizmatični, s ravnomjernim međupalubnim visinama. Brod ima okretnе ili pomicne dizalice.

Brod za palete s horizontalnim krcanjem krca se kroz bočne ili krmene otvore pomoću viličara, vučnih vozila i sl. Palete se

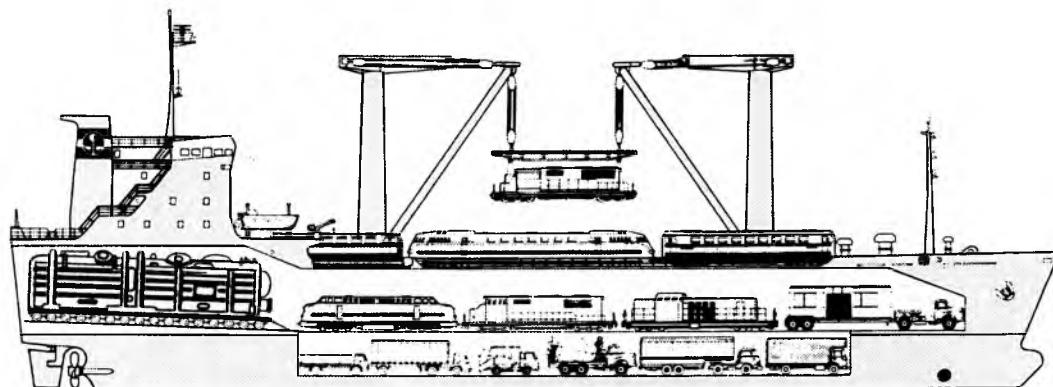


Sl. 1. Generalni plan višenamjenskog teretnog broda. Duljina preko svega 174,95 m, širina 22,80 m, visina 13 m, gaz 9,15 m, nosivost 16 479 t, brzina 19,3 čvora.
1 gornje međupalublje, 2 donje međupalublje, 3 skladišta, 4 strojarnica, 5 grotla

kapaciteta, i međupalublje. Njegove su glavne izmjere, radi optimalnog slaganja kontejnera, slične izmjerama kontejnerskog broda. Kapacitet višenamjenskog broda ne premašuje mnogo kapacitet najvećih starih linijskih teretnjaka (do ~800 TEU, engl. twenty-feet equivalent unit; 1 TEU odgovara obujmu kontejnera s izmjerama u stopama $20 \times 8 \times 8$), brzina je pretovarivanja mnogo manja nego kontejnerskog broda ili broda za prijevoz tereta na kotačima, a zbog cijene samarica i grotlenih poklopaca skupljci je po kontejnerskom slogu, odnosno po jedinici skladišnog prosto-

mogu prenositi na niže palube dizalima ili pokretnim trakama. Palube i ukrepe dimenzioniraju se za koncentrirana opterećenja tereta na kotačima.

Brod za teški teret jest brod posebno građen za prijevoz teškog komadnog tereta (sl. 2). Obično ima dva tereta stupnja postavljena asimetrično, jedan uz lijevi a drugi uz desni bok, s po jednom teškom samaricom. S obzirom na raznovrsnu višenamjensku opremu takav je brod zapravo hibridno rješenje i rijetko se gradi.



Sl. 2. Shema broda za teški teret

BROD ZA RASTRESITI TERET

Brod za rastresiti teret (engl. Bulk Carrier) jednopalubni je brod za prijevoz različitog tereta rasutog u skladištima. U širem se smislu u tu skupinu ubrajaju i kombinirani brodovi za suhi i tekući teret. Teretni je prostor podijeljen na tankove ili skladišta prikladne veličine, već prema vrsti tereta, strukturalnim zahtjevima, nepotonjivosti broda itd. Teret se pretovaruje crpkama, puhalima, pokretnim trakama ili zaimaćama.

Brod za rastresiti teret ima najbolju iskorištenost skladišnog prostora te veliku brzinu pretovara. Specifični je obujam tereta $0,4 \dots 1,5 \text{ m}^3/\text{t}$. Glavni su rastresiti tereti ruda, ugljen, žito, boksit i šećer.

Brod za rastresiti teret za duga putovanja najčešće je kombinirani brod, s jednim glavnim teretom i drugim teretom u povratnoj plovidbi (npr. ruda i žito). Brod mora imati dovoljan kapacitet balastnih tankova za slučaj da u povratnoj plovidbi plovi bez tereta. Tada se morska voda upušta u dvodno, u krovne bočne tankove, u vršne tankove i u jedno ili dva srednjia skladišta kako bi se postigao dovoljan gaz za sigurnu plovidbu. Poprečne, nepropusne pregrade pojačane su da bi izdržale tlak tekućine.

Nosivost je suvremenog broda za rastresiti teret 30 000 do 150 000 t. Brod je sličan višenamjenskom teretnom brodu sa skladištima. Obično ima 5, 7 ili 9 skladišta, već prema veličini broda. Pri krcanju teškog tereta skladišta s parnim brojem ostavljaju se prazna radi podizanja težišta te izbjegavanja prevelike metacentarske visine i tzv. *pretvrdog* stabilитетa. Posljedice su takvog krcanja veće opterećenje dvodna u neparnim skladištima, veće sмине sile u ravnnim pregradama i veća strukturalna naprezanja. Skladišta su obično jednakog duljine i s jednakim grotlenim otvorom. Na većim se brodovima često postavljaju dvodijelni grotleni poklopaci, koji se otvaraju kotrljanjem u stranu, prema boku. Iznimno su skladišta nejednake duljine, tako da ona dulja (s parnim brojem) imaju dva grotlena otvora, iste veličine kao u neparnih skladišta.

Radi lakšeg krcanja, iskrčavanja, čišćenja i održavanja grade se i brodovi s unutrašnjom oplatom, tako da su stijenke skladišta glatke. Ukrepe se nalaze u dvoboku i unutar dvoplošne poprečne pregrade. Dvodno se dimenzionira prema specifičnom opterećenju, koje kod krcanja teških tereta može iznositi 30 t/m^2 , te prema opterećenjima pri krcanju zaimaćama i buldozerima. Uzvojna je ploča pokrova dvodna obično izdignuta pod kutom od $\sim 45^\circ$ radi lakšeg čišćenja. Bočni potpalubni tankovi služe za voden balast i kao skladišta za lagane sorte žitarica. Donja, kosa ploha tih tankova nagnuta je oko 30° prema horizontali, što odgovara prirodnom kutu pokosa većine žitarica.

U velikoj se skupini rastresitih tereta najprije propisima regulira prijevoz žitarica, koje su zbog svoje sirkosti opasne za stabilitet broda. Nasuprot žitaricama, druge su vrste rastresitog tereta opasne samo ako im je udio vlage veći od određene granice (npr. koncentrati ruda). Osim toga, metacentarska je visina broda natovarenog žitom malena s obzirom na brodove s teretom veće gustoće, pa već manje poprečno presipanje uzrokuje znatne nagije-

većina brodova za rastresiti teret, osobito onih većih, nema vlastite pretovarne uređaje, nego ovisi o lučkim pretovarnim sredstvima. Na brodovima koji imaju vlastiti pretovarni uređaj danas prevladavaju dizalice nosivosti $25 \dots 35 \text{ t}$ ili pokretne trake. Strojnica se nalazi u krmrenom dijelu, a iznad nje su nadgrađe i zapovjednički most. Glavni su strojevi sporohodni dvotaktni Dieselovi motori. Koeficijent istisnine sličan je kao u tankera, a brzina je $13 \dots 16 \text{ čvorova}$.

Postoje i uskospesijalizirani brodovi za rastresiti teret. *Brod za rudu* ima povišena skladišta koja se pune rudom, dok dvodno i široki bočni tankovi ostaju prazni, odnosno pune se morskom vodom u balastnoj plovidbi. Brod za rudu velike gustoće obično je velike nosivosti, veće od 100 000 t. Nosivost je *broda za sirov řečer* 20 000 \dots 40 000 t. Razvijeni su i brodovi s velikim palubnim otvorima, specijalizirani za prijevoz papira u kolutima ili pulpe. Budući da su grotla velika, teret se vertikalno spušta i slaze, bez podvlačenja. *Brod za sirk cement* ima u skladištima posebne kompresore za stalnu dobavu zraka, čime se postiže stabilna mješavina cementa i zraka. Cement se krca i iskrčava pneumatski, a na palubi se može ugraditi oprema za automatizirano punjenje vreća, koje se onda pokretnom trakom odvoze na kopno.

Neki su brodovi, da bi bili bolje iskorišteni, opremljeni za prijevoz kontejnera u povratnom putovanju. Tada obično imaju veće grotlene otvore, u skladu s veličinom kontejnera. U pojedinih se brodova posve podudaraju širine grotla i skladišta (uzdužna grotlena pražnica u istoj je ravni s unutrašnjom oplatom, tj. s bočnom stjenkom skladišta). Takvi su brodovi vrlo fleksibilni i prikladni su za prijevoz raznovrsnih tereta (kontejnera, ruda, suhog sirkog tereta, drva, cijevi pa čak i teškog komadnog tereta).

TANKER

Tanker je brod za prijevoz tekućih tereta kojemu je prostor za teret podijeljen uzdužnim i poprečnim pregradama na nepropusne odjeljke (tankove). Za ukrcavanje i iskrčavanje tereta tankerima imaju poseban sustav cjevovoda i crpki (v. *Brod*, TE 2, str. 306).

Mješine, baće, vrčevi i amfore bili su prvi spremnici koji su se rabili za prijevoz tekućina. Prvi teret američke naftе u baćvama prevezao je preko Atlantika, od rijeke Delaware do Londona, 1861. brik *Elizabeth Watt*. Baće su se pokazale neekonomičnim zbog slabe iskorištenosti brodskog prostora, pa je 1869. brod *Charles* opremljen metalnim tankovima koji su bili zaštićeni i poduprti drvenom gradom. Prijevoz naftе u strukturnim tankovima s dvodnom nije dolazio u obzir jer zakonički spojevi nisu bili uljonepropusni, a mješavina zraka i plinova koja se stvara između unutrašnje i vanjske oplate zapaljiva je i eksplozivna.

Parobrod *Güickauf* prvi je željezni tanker s jednostrukom oplatom i naftom u tankovima. Osnovan je i izgrađen kao brod koji krcu naftu do vanjske oplate, pa je primijenjen i poseban način zakivanja. Trup je, od strojarnice do pramčanog vršnog tanka, bio podijeljen uzdužnom i poprečnim pregradama u više odjeljaka. Po čitavoj se duljini palube nalazio ekspanzijski tank. To i mnoga druga obilježja učinili su *Güickauf* prototipom tankera do današnjih dana. Kobilica *Güickaufa* položena je 25. studenoga 1885. u Walker Shipyardu (brodogradilište Swan Hunter, Newcastle upon Tyne). Unatoč sumnjama u raznih strana, Bureau Veritas dodjelio mu je klasu pa je *Güickauf*, uz povremene dogradnje, plovio do 1893. kad je doživio brodolom. Koristeći se iskustvima tijekom izgradnje i službe *Güickaufa*, njegovu su graditeljiju izgradili još najmanje 45 drugih tankera.

Tablica 3
ZNAČAJKE NEKIH NAJVEĆIH TANKERA

Značajka	Ime broda, zemlja i godina gradnje				
	Tina Onassis, Njemačka, 1950.	Nissho Maru, Japan, 1962.	Universe Ireland, Japan, 1968.	Globtik Tokyo, Japan, 1973.	Batillus, Francuska, 1976.
Duljina između okomica, m	220,50	276,00	330,00	360,00	401,08
Računska širina, m	29,00	43,00	53,30	62,00	63,00
Visina, m	15,70	22,20	32,00	36,00	35,00
Gaz, m	11,45	16,53	24,10	28,20	28,60
Nosivost, t	45 720	131 400	326 000	486 664	553 662
Istisnina, t	59 450	163 400	374 000	550 903	630 662
Vlastita masa, t	13 730	32 000	48 000	67 239	77 000
Brzina u službi, čvor	16	16	15	16	16,7

be broda. Prevelika metacentarska visina, tj. *pretvrdi* stabilitet s kratkim periodima ljudljana izravno utječe na smanjenje dinamičkoga kuta pokosa sirkog tereta. Dobrom se mjerom smatra perioda ljudljana koja nije bitno kraća od 10 s. Opseg stabiliteta treba biti najmanje $55 \dots 60^\circ$.

Tanker za naftu prevozi naftu od izvora do iskrčajnog terminala. Fizikalne su značajke tereta stalne, a pretovarni se postupak svodi na pretakanje.

Od sredine XX. st. nosivost tankera progresivno raste (tabl. 3), a kulminira 1976. izgradnjom tankera ULCC (engl. Ultra Large

Crude Carriers) nosivosti $\sim 550\,000$ t, što su ujedno najveći do tada izgrađeni brodovi (sl. 3). Omjer je snage i nosivosti opadao od $0,38 \cdots 0,07$ kW/t, što je veće tankere činilo ekonomičnijim, ali i razmjerno sporijim, uz slaba manevarska svojstva. Masa čelika iznosi $12 \cdots 15\%$ istisnine tankera i utječe na cijenu izgradnje više nego kod bilo kojega drugog tipa broda.



Sl. 3. Tanker *Batillus*, nosivost 553 662 t

Glavne izmjere i istisnina. Omjer duljine i širine danas je u tankera između 5,5 i 6,5, a omjer duljine i visine $9,5 \cdots 13,5$ (najčešće ~10). Omjer duljine i gaza smanjio se od nekadanjih 18 na manje od 16. Koeficijent istisnine povećao od nekadanjih 0,75 do 0,86, jer porast nosivosti nije bio praćen porastom brzine. Preveliki koeficijent istisnine povećava kavitaciju i vibracije te pogoršava pritjecanje vijku, pa je u novije doba njegova vrijednost samo iznimno veća od 0,83. U skladu s time, te zahvaljujući razvoju znanosti o čvrstoći broda, porastao je i omjer nosivosti i istisnine na $0,85 \cdots 0,88$.

S obzirom na skromne relativne brzine i velike koeficijente istisnine, za tankere VLCC (engl. Very Large Crude Carriers) i ULCC povoljni su jednostavniji pramci s valjkastom statvom. Takav pramac omogućuje veću koncentraciju istisnine u prednjem dijelu i uzdužno pomicanje težišta istisnine ispred glavnog rebra pa nije potrebno pramčano rame. Tako je s težištem istisnine $0,02 \cdots 0,05 L_{pp}$, gdje je L_{pp} duljina između pramčane i krmene okomice, za razmjerno puniji oblik brodskog trupa moguće izbjegći krmeno rame i načiniti vitki krmeni dio te osigurati dobro pritjecanje vode vijku.

Konfiguracija prostora i sigurnost. Potpalubni se prostor od krme prema pramu dijeli na: krmeni vršni tank, u koji se krcu vodenici balasti i iznad kojeg je prostor kormilnog viti; strojarnicu, unutar koje su uglavnom i svi tankovi za gorivo; prostor gdje su smještene crpke za pretakanje tereta; taložne tankove, koji mogu služiti i za teret (ulja manje gustoće); teretne tankove, kojih

duljina u tankerima VLCC i ULCC premašuje $0,77 L_{pp}$; pramčani vršni tank, s vodenim balastom u donjem dijelu te lančanikom i spremištem u gornjem prostoru.

Zbog havarija, prilikom kojih u more istječe velika količina naftne, poduzimaju se mnoge mjere da bi tankeri postali sigurniji kako bi se more i obala zaštitali od zagađenja. Na temelju važnih propisa koje je 1978. i 1992. donijela Međunarodna pomorska organizacija odvojio se prostor teretnih tankova od vanjske oplate za najmanje 2 m, pa tankeri ponovno dobivaju dvodno i dvobok. Ti se prostori kad je brod prazan, tj. kad je u balastnoj plovidbi, pune morskom vodom da bi se osigurao potreban gaz. Računski gaz pri sredini broda T_m , ne uzimajući u obzir bilo kakvu deformaciju trupa, ne smije biti manji od $2+0,02 L$, gdje je L duljina broda. Gazovi na krmi i pramcu proizlaze iz gaza T_m , s time da zatega ne prijeđe $0,015 L$, a krmeni gaz T_a mora biti toliki da osigura puno uranjanje propeleru.

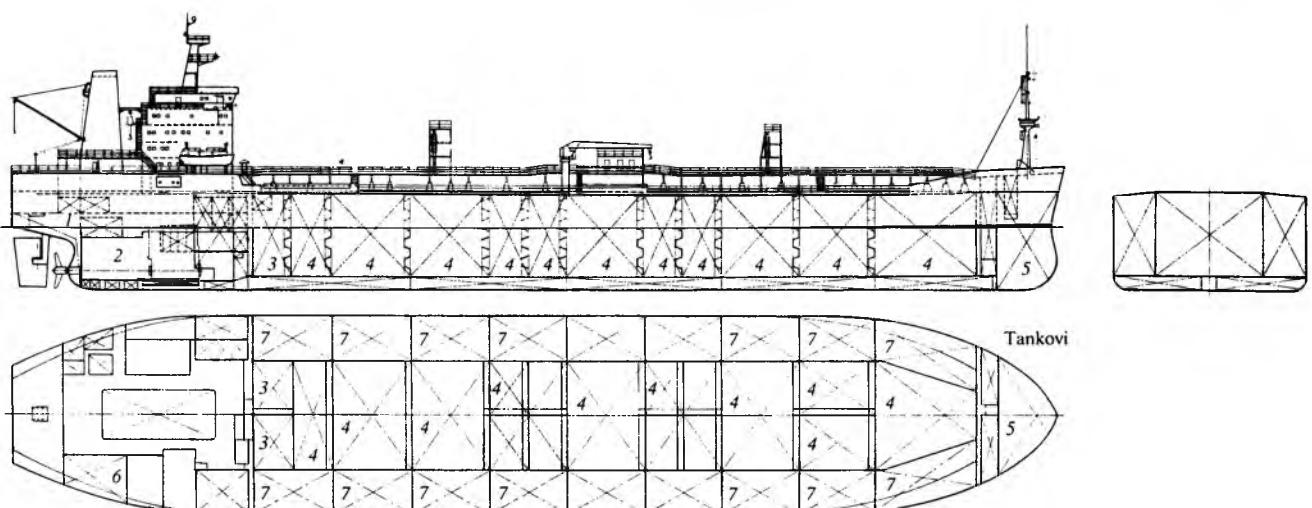
Ukupni obujam balastnih tankova iznosi otprilike trećinu obujma teretnih tankova. Da bi se osigurao poseban prostor za tekući balast, potrebno je za danu nosivost povećati glavne izmjere, što brod čini skupljim. Dodatna važna prednost dvostrukе oplate jesu gлатke stijenke teretnih tankova, jer je nosiva ukrepna struktura između vanjske i unutrašnje oplate.

Osim za propulziju, na tankeru se velike količine energije troše i za pogon teretnih i balastnih crpki, za čišćenje tankova itd. Kapacitet je teretnih crpki toliki da pretakanje i zadržavanje na terminalu traje $10 \cdots 12$ sati.

Tanker za naftne prerađevine služi za prijevoz i distribuciju prerađevina od rafinerije do potrošača. Po vanjskom se izgledu malo razlikuje od tankera za naftu i za njega vrijedi većina propisa za sigurnost tankera. Manjih je izmjera od tankera VLCC i ULCC, a nosivost mu najčešće iznosi $30\,000 \cdots 60\,000$ t. Ima i manjih tankera, to su lučki i obalni tankeri za opskrbu brodova na sidrištu i lokalnih crpnih stanica. Tanker za naftne prerađevine nosivosti veće od $30\,000$ t mora imati dvostruku oplatu.

Tanker za prerađevine istodobno prevozi više različitih tereta (i do 20). Ima velik broj tankova i složen sustav crpki i cjevovoda kako bi se omogućilo posebno pretakanje različitih tereta. U tankovima se tijekom plovidbe mogu održavati različite temperature. Plovidbene su relacije kraće pa bi, s obzirom na velike tankere za naftu, i brzine mogle biti manje. Ipak, u praksi su razlike u brzini zanemarive pa su stoga i relativne brzine v/\sqrt{L} veće, a koeficijent istisnine je manji ($<0,78$). Za propulziju najčešće služe izravno spojeni sporohodni dvotaktni Dieselovi motori te srednjohodni četverotaktni motori s reducirjskim trigonom.

Tanker za naftne prerađevine (sl. 4) ima visok stupanj automatizacije, s daljinski upravljanom strojarnicom i uređajem za pretakanje tereta. Opremljen je elektroničkim računalom pa se u svakom trenutku može ustanoviti količina tereta u svim tankovima, zatim gazovi, stabilitet, trim, te momenti savijanja i posmične sile.



Sl. 4. Generalni plan tankera za naftne prerađevine *Iver Swift*. Duljina preko svega 175 m, širina 32 m, visina 15,1 m, nosivost 39 723 t, pogonski Dieslov motor snage 8 250 kW. 1 krmeni vršni tank, 2 strojarnica, 3 taložni tank, 4 središnji tankovi, 5 pramčani vršni tank, 6 grotlo strojarnice, 7 bočni tankovi

Tanker konvencionalne gradnje s dvije uzdužne pregrade ima 18···30 teretnih tankova. Novi tankeri s dvostrukom oplatom i dvodnom, bez uzdužnih pregrada, imaju dva do tri puta manji broj tankova. Umjesto 3···4 teretne crpke neposredno ispred strojarnice, često se u novije doba u svaki tank ugrađuju uronjene crpke.

Tanker za kemikalije služi za prijevoz tekućih kemikalija. Kemikalije se prema stupnju opasnosti dijele u tri skupine, pri čemu one iz 1. skupine zahtijevaju najstrože mјere zaštite od istjecanja. Propisima se specificiraju obujam i smještaj teretnih tankova, njihov materijal i zaštitni premaz, tip konstrukcije i nadzor, razina punjenja, ventilacija i zaštita od požara. Od ~800 tankera za kemikalije, koliko ih je danas u službi, samo ih je 8 nosivosti veće od 40 000 t, pa se oni mogu ubrojiti u brodove srednje veličine (tabl. 4). Osobita je pozornost usmjerena na nepotopljivost tih brodova, te se provode strogi proračuni stabiliteta za oštećeno stanje.

Tablica 4

ZNAČAJKE NEKIH TANKERA ZA KEMIKALIJE

Značajka	Ime broda, zemљa i godina gradnje			
	Lake Anne, Hrvatska, 1982.	Maknassy, Njemačka, 1983.	Jo Aspen, Italija, 1991.	Marinor, Nizozemska, 1992.
Duljina između okomica, m	166,00	146,10	126,40	105,00
Računska širina, m	22,86	23,10	21,25	18,00
Visina, m	14,20	11,75	10,45	9,50
Gaz, m	10,65	9,75	8,00	7,50
Nosivost, t	26 328	19 400	12 600	7 400
Obujam teretnih tankera, m ³	32 125	14 200	—	8 250
Brzina u službi, čvor	15,8	15	15	14,5
Pogonska snaga, kW	8 254	7 650	6 000	4 050
Tip broda	II	III	I	II

Tanker za kemikalije istodobno može nositi jedan ili više različitih tereta. Zbog agresivnosti pojedinih kemikalija, različite viskoznosti, vrelišta te zapaljivosti i eksplozivnosti, potrebna je osobita pozornost pri izboru materijala, crpki, cjevovoda i sustava za ventilaciju.

Kodeksom dobre prakse za prijevoz opasnih kemikalija (IMO, 1971) predviđena su tri tipa brodova za prijevoz kemikalija, a najvažnija je razlika među njima u sposobnosti da izdrže specificirana oštećenja vanjske oplate i sprječe ili ograniče istjecanje tereta. Ti su kriteriji dopunjeni normiranim propisima za pohranu tekućina i para. Brod tipa I namijenjen je prijevozu najopasnijih kemikalija koje bi, kad bi se ispuštile, uzrokovale dalekosežne posljedice. To su tvari koje imaju najveću otrovnost u stanju u kojem se prevoze, zadržavaju veliku otrovnost u vodenoj otopini, te imaju veliku vodenu reaktivnost i zapaljivost. Tvari koje imaju slabije izražene neke od tih značajki mogu se prevoziti u brodu tipa II. Brod tipa III služi za prijevoz najmanje opasnih tvari. Brod tipa I ima dvodno visine veće od B/15, odnosno najmanje 760 mm za brod širine B ≤ 11,40 m, i dvije simetrične uzdužne pregrade udaljene od bokova najmanje B/5. Slične je poprečne građe i brod tipa II, samo što mu uzdužne pregrade mogu biti bliže bočnoj oplati, ali ne bliže od 760 mm. Za brod tipa III ne zahtijeva se dvodno ni unutrašnja bočna oplata. Ipak, svi se tankeri za kemikalije danas grade s dvodnom radi sigurnosti pri nasukavanju te radi lakšeg pretakanja i čišćenja. Tankovi se moraju temeljito očistiti u kratkom vremenu jer u mnogim slučajevima kemikalije koje se tovare ne smiju doći u dodir s ostacima prethodnih.

Zaštita od korozije najskuplja je stavka suvremenog tankera za kemikalije. Korozija se čeličnih pregradnih stijenki koje omedju tankove sprečava posebnim zaštitnim premazima na bazi cinkova silikata, te pomoću epoksidsnih smola i poliuretanske opne. Druga je mogućnost gradnja pregradnih stijenki od nehrđajućeg čeličnog lima ili od uobičajenog brodograđevnog čelika oblogom, odnosno listovima od nehrđajućeg čelika debljine 1···2,5 mm. Za manje je tankere, s debljinom lima manjom od 10 mm, štedljivije rješenje s homogenim kvalitetnim limom, a za tankere s debljinom lima većom od 10 mm pogodnija je tanka obloga od nehrđajućeg čelika. Površine su tankova glatke i lako se čiste, što je

važno za prijelaz s jednog tereta na drugi. Stijenke moraju biti postojane i sposobne da izdrže česta pranja.

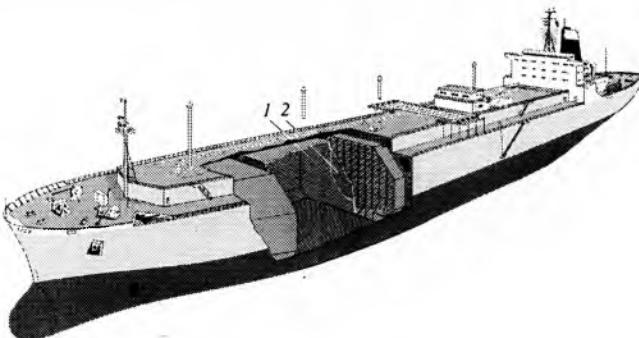
Za razliku od drugih tankera, gdje je gustoća tekućine u tankovima uglavnom manja od 1 t/m³, ovdje gustoće mogu biti mnogo veće (npr. sumporna kiselina ima gustoću $\rho = 1,84 \text{ t/m}^3$, fosforna kiselina 1,5···1,8 t/m³, tetraetilolovo 1,66···1,99 t/m³, natrijeva lužina 1,5···1,6 t/m³ itd.), pa su i veća opterećenja brodske konstrukcije.

Tanker za ukapljeni prirodni plin ima zbog male gustoće tereta (0,43···0,54 t/m³) velik obujam tankova i razmjerno malen gaz. S obzirom na gaz najveća je prihvativljiva snaga po vijku ~33 MW, pa je brzina broda s jednim vijkom ograničena na 20···21 čvor. Za veće se brzine ugrađuju dva vijka. Brod ima cijelovito dvodno i dvostruku bočnu oplatu. Koeficijent istisnine manji je od onoga u tankera za naftu slične veličine. Današnji tanker za ukapljeni prirodni plin imaju omjer šrine i gaza $B/T > 3$. Za omjer $B/T > 4$ i $L/B < 5$ pogodan je dvovijčani pogon i katamaranska krma. Kapacitet tankova suvremenih brodova iznosi 125 000···135 000 m³.

Prirodni je plin smjesa ugljikovodika koja ima skoro iste značajke kao njezin najzastupljeniji plin metan. Kritična je temperatura metana -83 °C, a kritični tlak 46 bar, te on ne može biti ukapljen samo povećanjem tlaka pri normalnoj temperaturi. Prirodni se plin ukapljuje hlađenjem do temperature ukapljivanja (oko -162 °C) pri atmosferskom tlaku i prevozi u posebnim tankovima (v. *Prirodni plin*, TE 11, str. 158).

U posljednja se tri desetljeća pojavilo više od 20 različitih sustava za pohranjivanje ukapljenog prirodnog plina. Najpouzdaniji su i najbrojniji membranski (*Technigaz i Gaz Transport*) i sferni tankovi (*Moss Rosenberg Verft*).

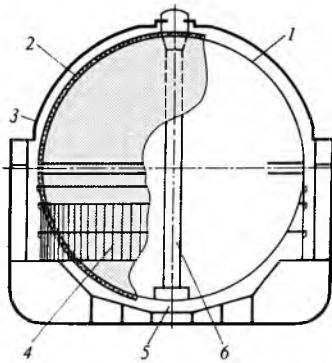
Membranski tank (sl. 5) jest spremnik od tanke opne (membrane), koju nosi okolna brodska struktura. Značajka je spremnika *TGZ* (*Technigaz*) da mu se primarna stijenka izrađuje od naboranih listova od nehrđajućeg čelika debljine 1,2 mm. Nabori omogućuju deformaciju opne pri velikim temperaturnim promjenama bez porasta naprezanja. Balzovina služi kao izolacijski sloj, a ukočeno drvo (šperploča) od favorovine ili brezovine kao sekundarna stijenka. Da bi se smanjili troškovi konstrukcije i povećala pouzdanost, izolacijski sloj može biti od poliuretanske pjene pojačane staklenim vlaknima, a sekundarna stijenka od aluminijске folije sa staklenim platnom s obje strane.



Sl. 5. Tanker za ukapljeni prirodni plin s membranskim tankom. 1 primarna stijenka, 2 sekundarna stijenka

U spremniku *GT* (*Gaz Transport*) primarna i sekundarna stijenka su od lima debljine 0,7 mm od invara (slitina čelika sa 36% nikla), koji ima malen koeficijent toplinskog rastezanja. Izolacijski je sloj od perlita obložena ukočenim drvom. Perlit je obrađen silikonom radi zaštite od vlage. Standardno se stavljuju dva izolacijska sloja ukupne debljine obloge ~400 mm. Tlak pare unutar membranskih tankova normalno ne prelazi 0,25 bar, iznimno je nadtlak do 0,7 bar.

Prednosti su membranskog spremnika dobra iskoristivost brodskog prostora, manje gladnje iznjere broda, jeftinija gradnja i održavanje, te manji transportni troškovi. Velika ravna površina palube omogućuje jednostavno postavljanje cjevovoda i druge opreme te prilagodljivost i onim terminalima koji su izgrađeni za tankere sa sfernim spremnicima. Mogućnost loma zbog niskih temperatura pri mogućem istjecanju hladne kapljevine glavni je nedostatak membranskog spremnika.



Sl. 6. Sferni tank. 1 primarna stijenka, 2 izolacija, 3 zaštitni prekrivač tanka, 4 noseća oplata, 5 sekundarni oslonac, 6 toranj

Sferni tank (sl. 6) samonosivi je spremnik, najčešće od aluminijске slitine, koji se preko valjkaste opalte oslanja na brodsku strukturu. S obzirom na jednostavnost sfernog spremnika bez ukrepa moguće je provesti vrlo točan proračun čvrstoće, pa nije potrebna sekundarna stijenka. Tlak u spremniku normalno ne prelazi 0,25 bar, iznimno 0,7 bar, osim u nuždi prilikom pretakanja polupunog tanka u luci kad može dosegnuti nadtlak 1,9 bar. Važna je prednost sfernog spremnika mogućnost krcanja do bilo koje razine, te lakše čišćenje i sušenje. Zadnjih se nekoliko godina više grade tankeri sa sfernimi spremnicima (sl. 7).



Sl. 7. Tanker za ukapljeni prirodnji plin sa sfernimi tankovima (obujam tankova 125 000 m³, nosivost 83 000 t)

Veličina i broj tankova ograničeni su zbog gibanja tekućeg tereta i dinamičkog opterećenja njihovih stijenki kad su djeluju-

mično napunjeni. Današnji brodovi najčešće imaju 5 tankova, iako se grade i brodovi s 4 tanka (pogotovo ako su sferne izvedbe).

Gubitak ukapljenog plina. Prolaz topline kroz izolaciju i stjenke tanka uzrokuje neprekidno isparivanje ukapljenog plina i stvaranje nadtlaka, koji sprečava prodiranje zraka u tank. Da nadtlak ne bi prekorčio dopušteni iznos, plin se mora kontrolirano odvoditi iz tanka. Kada je brod u luci, odvedeni se plin ponovno ukapljuje ili se odvodi plinovodom potrošačima. U plovidbi se prije plin jednostavno puštao u atmosferu, pa je gubitak energije iznosio nekoliko milijuna MJ dnevno. Problem je riješen tako što se plin odvodi u brodski kotao i tamo izgara, pa tankeri za ukapljeni plin imaju samo parnoturbinska propulzjska postrojenja.

Intenzitet isparivanja jest udio tereta koji ispari na dan, prema ukupnom obujmu teretnih tankova, pri temperaturi okolnog zraka od 45 °C i temperaturi mora od 32 °C (referentno stanje). Količina isparenog plina ovisi o intenzitetu isparivanja i trajanju plovidbe, što je razlog velikim brzinama tankera za ukapljeni plin. Intenzitet isparivanja iznosi ~0,12%.

Tanker za ukapljeni naftni plin. Prije 1959. ukapljeni se naftni plin (propan, propilen, butan, butilen, v. *Prirodni plin*, TE11, str. 168) prevozio samo u tlačnim tankovima. S razvojem rashladnih postrojenja nastala su tri osnovna tipa nosača ukapljenih plinova.

Brod s tlačnim tankovima jednostavan je jer teret zahtijeva ograničen nadzor, ali ima slabu iskorištenost brodskog prostora i velik omjer mase tanka i tereta. Tlačni su tankeri skupi pa se takvi brodovi danas rijetko grade.

Brod s hlađenim tlačnim tankovima ima valjkaste tankove, horizontalno položene na dva sedlasta oslonca. Kapacitet tih brodova ne prelazi 30 000 m³.

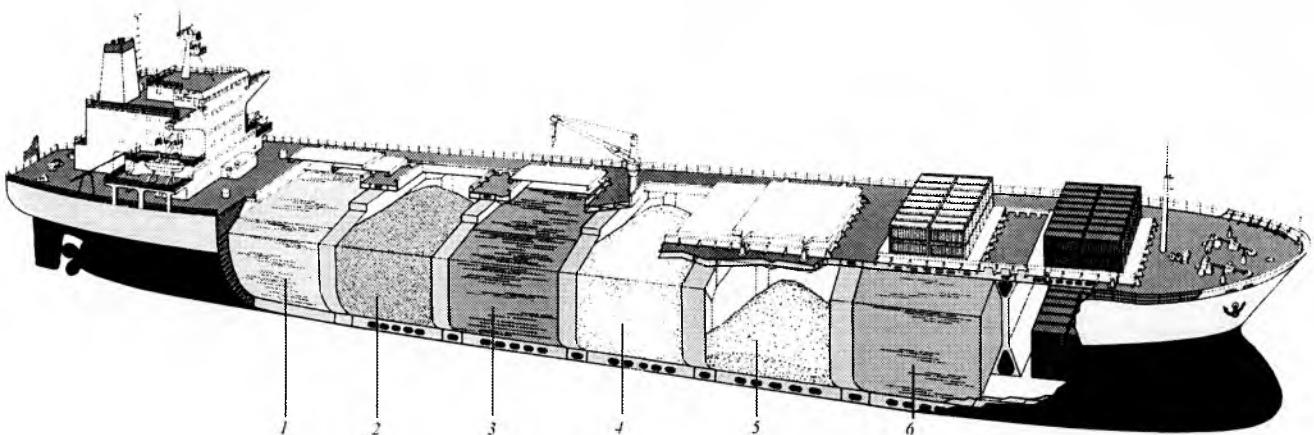
Brod s hlađenim tankovima prevozi ukapljeni naftni plin pri atmosferskom tlaku. Temperature su u tankovima do -104 °C.

BROD ZA TEKUĆI TERET I SUHI RASTRESITI TERET

Brod za tekući teret i suhi rastresiti teret (OBO brod, engl. Oil Bulk Ore Carrier) razvijen je 1970-ih godina s namjerom da se brod za rastresiti teret učini fleksibilnijim i sposobi za izmjenični prijevoz suhog rastresitog tereta, teške rude i nafte. Uglavnom nema vlastitog uređaja za pretovar pa se oslanja na lučke uređaje. Za tekući su teret ugrađeni cjevovodi, crpna stanica, te palubni priključci i dizalice za pridržavanje savitljivih cijevi pri bokovima palube. Takođe se ugrađuju i pojedinačne uronjene crpke za pretakanje tereta. Na stražnjem se kraju, ili pri sredini teretnog prostora, nalaze taložni tankovi za pranje teretnih tankova te za krcanje tekućeg tereta manje gustoće.

Grotleni su poklopci uljonepropusni, s prikladnim brtvama, i obično se otvaraju u stranu. Budući da je širina grotlenog otvora ≤ 50% širine broda, poklopci su dvodijelni.

Poprečni je presjek kroz skladište kao u broda za rastresiti teret, tj. brod ima dvodno s uzdignutom uzvojnom pločom, iznad koje su palubni bočni tankovi. Danas je, u skladu s propisima Međunarodne pomorske organizacije, obvezatna unutrašnja oplata, odmaknuta najmanje 2 m od vanjske oplate. Ukrepe se nalaze iz-



Sl. 8. Shema broda za tekući teret i suhi rastresiti teret. 1 naftni derivati, 2 ugljen, 3 lužina, 4 žito, 5 ruda, 6 nafta

među unutrašnje i vanjske oplate. Vodeni se balast krca u tankove dvodna i dvoboka, u krovne bočne tankove te u one na krajevima broda.

S obzirom na tankersku opremu omjer nosivosti i istisnine nešto je manji nego u broda za rastresiti teret iste veličine i iznosi $0,80 \cdots 0,84$. Troškovi gradnje i održavanja također su veći za $12 \cdots 15\%$. Nosivost je broda $60\,000 \cdots 150\,000$ t, a brzina $14 \cdots 15$ čvorova.

Jedna vrsta broda za tekući teret i suhi rastresiti teret (PROBO brod) ima povećan obujam tankova, djelotvorniji uređaj za pretakanje, te opremu za pranje i čišćenje tankova, a može prevoziti naftne prerađevine, kontejnere, duge cijevi i ostali komadni teret (sl. 8). Brod ima pontonske grotlene poklopce na koje se mogu složiti dva do tri reda kontejnera. Obično se rabe uronjene crpke, a njihov je kapacitet tolik da omogućuje pretakanje cijelog tereta za 14 sati. Neki brodovi imaju vlastitu dizalicu za suhi teret, npr. portalne dizalice na palubnim tračnicama koje mogu posluživati sva skladišta.

Brod za rudu i naftu u jednom smjeru prevozi naftu, a u povratnom tešku rudu, pa nema balastne plovidbe. Poprečni mu je presjek isti kao u specijaliziranog broda za tešku rudu. Po sredini je broda skladište za rudu, obično trapezna oblika, koje se suzuje prema dnu. U povratnom se putovanju nafta krca u skladišta, ali i u bočne tankove. Ako u povratnoj plovidbi nema tereta, upušta se morska voda u dvodno i u neke od bočnih tankova da bi se osigurao potrebnii gaz. Sva se ukrepa i nosiva struktura nalazi u bočnim tankovima i dvodnu pa središnja skladišta imaju glatke plohe.

KONTEJNERSKI BROD

Kontejnerski je brod specijalizirani brod za prijevoz standardnih kontejnera (spremnika) s robom (sl. 9). Kako nema vlastitog uredaja za kreanje, pri pretovaru ovisi o lučkim dizalicama.

Kontejnerski brod ima velike palubne grotlene otvore kojih se izmjere podudaraju s duljinom i širinom skladišta. Ukupna širina grotlenih otvora doseže 90% širine broda. Na grotlene se poklopce također slažu kontejneri, obično ne više od 5 redova u visinu. Kontejneri koji se transportiraju na poklopциma povezuju se međusobno i s brodskim okovima.

Vertikalne vodilice u skladištima tvore ćelije (celule) u koje se kontejnieri slažu neposredno jedan iznad drugoga u više redova. Vodilice su od valjanog čelika L-profila i spajaju se s osnovnom brodskom konstrukcijom. Zračnost između vršnih okova kontejnera i vodilica obično iznosi ~ 13 mm. Vertikalno se opterećenje od naslaganih kontejnera prenosi izravno na dvodno, dok poprečne sile, koje nastaju zbog gibanja broda, prihvaćaju vodilice. Pri slaganju više od 7 redova punih kontejnera umeću se konzolni oslonci za gornje redove ili se rabe pojačani kontejneri. Na svakom se putovanju prevozi određeni broj praznih ili djelomično natovarenih kontejnera, koji se smještaju u gornje redove.

Suvremeni lučki terminali, opremljeni posebnim pretovarnim uređajima, mogu ukreati ili iskrećati cjelokupan brodski teret za nekoliko sati. Iskoristivost je kontejnerskog broda tri puta veća nego broda za opće terete, a kako ima veću brzinu plovidbe, jedan kontejnerski brod može zamijeniti sedam konvencionalnih. Da bi se još više skratio vrijeme koje brod provede na terminalu te da bi se smanjili troškovi pretovara, grade se i kontejnerski brodovi bez grotlenih poklopaca. Na otvorenom se kontejnerskom brodu ćelije protežu od dvodna, kroz grotlene otvore, do izvan skladišta

pa je nekoliko redova kontejnera iznad razine palube. Krajem 1992. ostvarena je i zamisao da se kontejneri na otvorenom kontejnerskom brodu prekriju laganim metalnim pokrovom koji sprečava prodor vode u skladišta.

Poстоji pet generacija kontejnerskih brodova (tabl. 5). U prvu pripadaju manji brodovi za promet na kratkim relacijama, npr. između Sjevernoga i Sredozemnog mora. Drugu generaciju čine brodovi za prijevoz kontejnera na dugim linijama, npr. između Europe i Australije. U trećoj su i četvrtoj brodovi za linije oko svijeta, a izmjere su im ograničene propusnošću Panamskog kanala (brodovi *Panamax*). U petoj su generaciji tzv. brodovi *Post-Panamax*, širine veće od $32,24$ m, koji plove oko svijeta, ali ne kroz Panamski kanal, nego oko rta Horn. Ti brodovi zahtijevaju lučke terminalne s dizalicama većeg dohvata. Kontejnerski brodovi *prinosioci* male su jedinice za obalnu plovidbu koje prevoze kontejnere iz luke bez kontejnerskog uredaja do luke specijalizirane za kontejnerski pretovar, i obratno.

Tablica 5
KARAKTERISTIČNE VELIČINE KONTEJNERSKIH BRODOVA

Vrsta kontejnerskog broda	Kapacitet (TEU)*	Brzina u službi čvor	Najveće izmjere m			Gaz m
			Najveća duljina	Računska širina	Visina	
Prinosilac	1000	15	140	20	12	-
Brod 1. generacije	1100	20	190	27	18	9 \cdots 10
Brod 2. generacije	2000	22	240	30	23	10 \cdots 12
Brod 3. generacije	3000	25	260	32,24	25	12 \cdots 13
Brod 4. generacije	4000	25	289	32,24	26	13 \cdots 14
Brod 5. generacije	6000	25	300	40	27	>14

*normirana kontejnerska jedinica za teret ($20 \times 8 \times 8$ stopa)

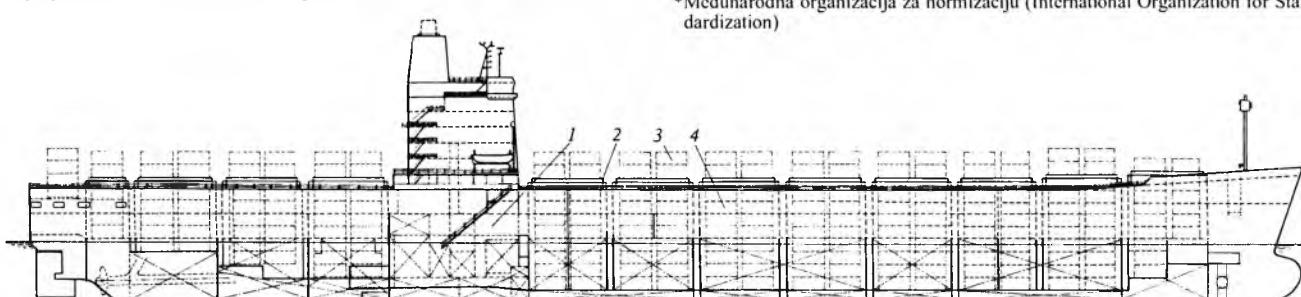
Suvremeni čelijski kontejnerski brod ima koeficijent istisnine $0,53 \cdots 0,70$ (u novije doba rijetko manji od 0,60). Velike su se brzine i snage pokazale neekonomičnima zbog većeg potroška goriva pa su im stoga danas brzine ~ 20 čvorova. Omjer nosivosti i istisnine kontejnerskih brodova iznosi $0,60 \cdots 0,75$.

Kontejnerski transport. Kontejnere se grade u normiranim izmjerama (tabl. 6), a vršni okovi omogućuju prihvatanje i osiguranje u transportu. Materijal za kontejnere je čelik, aluminijumska slitina, ukočeno drvo i stakloplastika, s time da su vršni okovi i okvirni profili uvihek od čelika. Broj kontejnera u svjetskom transportu u stalnom je porastu. Važniji su tipovi kontejnera: *standardni suhi kontejneri* s čvrstim, vodonepropusnim krovom, bočnim plohamama i vratima, prikladan za teret koji ne zahtijeva regulaciju temperature; *ventilirani suhi kontejneri*, izolirani spremnik koji ima ugrađenu malu jedinicu za grijanje i klimatizaciju;

Tablica 6
IZMJERE KONTEJNERA PREMA NORMAMA ISO*

ISO-tip	Masa s teretom t	Duljina m (ft)	Širina m (ft)	Visina m (ft)
I A	30	12,20 (40)		
I B	25	9,15 (30)		
I C	20	6,10 (20)		
I D	10	3,05 (10)		
I F	5	1,52 (5)		
			2,44 (8)	2,44 (8)

*Međunarodna organizacija za normizaciju (International Organization for Standardization)

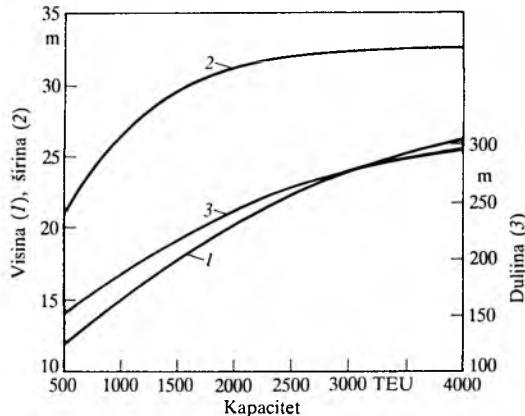


Sl. 9. Generalni plan kontejnerskog broda *Australian Venture*. Duljina preko svega 248,58 m, računska širina 32,24 m, visina 21,5 m, nosivost 32 800 t, kapacitet 1822 TEU, dva pogonska Dieselova motora ukupne snage 39 187 kW, brzina 23 čvora. 1 strojarnica, 2 grotla, 3 natpalubni kontejneri, 4 potpalubni kontejneri

hladeni kontejner, izolirani spremnik s rashladnom jedinicom za održavanje smrznutog tereta na određenoj temperaturi; *otvoreni kontejner* s platnenim pokrovom za glomazni teret; *kontejner cisterna* s kuglastim ili valjkastim spremnicima; *kontejner za sipki teret* s plastičnom presvlakom koja se lako čisti; *kontejner za ribu* s uređajima za pročišćavanje morske vode i regulaciju temperature itd.

Prednosti su kontejnerskog transporta brzina, sigurnost i neoštetećivanje dobara, a nedostaci ovisnost o pretovarnim uređajima i specijaliziranim lučkim terminalima, te slabija iskoristenost brodskoga skladišnog prostora.

Osnivanje kontejnerskog broda. Pri osnivanju kontejnerskog broda nastoji se smjestiti što veći broj kontejnera u prostor trupa. Kontejnerske se čelije postavljaju tako da im dulja strana bude usporedna s ravnom simetrije broda. Kako se brodski trup sužava prema krajevima, tako se postupno smanjuje broj kontejnera u donjim redovima. Kadšto se finim lokalnim proširivanjem trupa ili promjenom i prilagodbom konstrukcije, može na kritičnim mjestima povećati broj kontejnera.



Sl. 10. Visina, širina i duljina kontejnerskog broda s obzirom na kapacitet

Glavne izmjere broda projektiraju se prema kapacitetu i omjeru broja kontejnera u skladištima i iznad palube (sl. 10). Što je veći udio kontejnera ispod palube, to će brod imati veće glavne izmjere. Širina palubne proveze (razmak između uzdužne grotlene pražnice i boka broda) iznosi 1,2…3,2 m. Razmak između kontejnera iznosi 150…200 mm, već prema načinu polaganja u vodilice. Visina je dvodna 1,4…1,8 m. Visina grotlenih pražnica obično iznosi 1,4…1,6 m. Širina broda može se izračunati pomoću jednadžbe:

$$B = 2438 \cdot n_1 + d \cdot n_2 + 800 \cdot n_3 + 300 + 2s, \quad (1)$$

gdje je n_1 broj kontejnera po širini skladišta, d razmak između kontejnera, n_2 broj razmaka između kontejnera, n_3 broj praznina između kontejnerskih naslaga, a s širina palubne proveze (mm). Visina broda ovisi o broju i visini kontejnera ispod palube, visini dvodna i pražnica te o progibu grotlenih poklopaca i duljini broda. Duljina je broda određena ukupnom duljinom teretnog prostora, zatim duljinom strojarnice te položajem krmene i pramčane sudarne pregrade. Da bi se što bolje iskoristio potpalubni prostor za teret, strojarnica se smješta posve pri krmi. Na brodovima koji imaju motore velikih snaga, odnosno dvovijčani pogon, to nije moguće te je strojarnica na 3/4 duljine broda (pri krmi).

Za kontejnerski je brod karakterističan malen gaz, pa ni pri najvećem opterećenju nema geometrijski gaz, odnosno najmanje nadvođe. Dubina u pojedinim lukama i morskim prolazima također utječe na određivanje najvećega gaza.

Za brodove kapaciteta 800…3 500 TEU i brzine 20…35 čvorova može se u prvom približenju rabiti jednadžba za snagu glavnog stroja:

$$P = 0,052 \cdot N^{0.5} \cdot v_s^{3.07}, \quad (2)$$

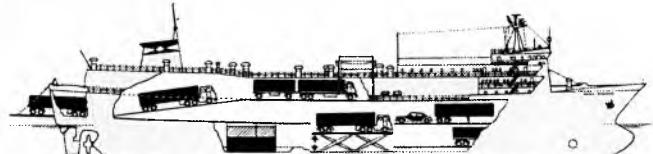
gdje je P snaga (kW), N kapacitet (TEU), v_s brzina broda u službi u čvorovima.

Nekad su se za snage veće od 30 MW ugrađivalle parne turbine, koje je istisnuto štedljiviji motor s unutrašnjim izgaranjem. Danas se obično ugrađuju dvotaktni sporohodni, izravno spojeni Dieselovi motori te iznimno srednjohodni četverotaktni motori s reduksijskim trigonom. Odnedavna se rabe nešto brži dvotaktni motori s kraćim stupnjem (npr. MAN-B&W tipa MC-C, promjera cilindra 800 i 900 mm, snage 20…52 MW pri nominalnoj brzini vrtnje 104 min⁻¹).

Masa je opreme i nastamba od ~300 t kod prinosioca do ~1 700 t kod velikih brodova. Ta se masa povećava ako brod prevozi hlađene kontejnere, osobito ako su hlađeni zrakom pripravljenim u posebnome brodskom rashladnom sustavu. U masu opreme ubraja se i oprema koja služi za centriranje, povezivanje i privezivanje (morski vez) kontejnera. Masa se vodilica uzima u prvom približenju 0,7…1,2 t po kontejneru ispod palube. Masa grotlenih poklopaca ovisi o veličini otvora i o broju naslaganih kontejnera na njima, a s obzirom na kapacitet dizalice u lukama, ne bi smjela prijeći 25…30 t. Svi kontejnerski brodovi, osim prisilnika, imaju pontonske poklopce.

BROD ZA PRIJEVOZ TERETA NA KOTAČIMA

Brod za prijevoz tereta na kotačima (tzv. ro-ro brod) uglavnom se tovari pomoću vozila kroz otvore u krmi, pramcu ili boku (sl. 11). Neka od vozila, kao što su automobili, vagoni, prikolice itd., ostaju na brodu za vrijeme plovidbe, dok druga služe samo za utovar, npr. viličari, traktori i lučki utovarivači. Naziv potječe od engleskoga *roll on – roll off*, što znači da roba stiže na brod i odlazi s broda na kotačima, bez prekrcavanja brodskim ili lučkim dizalicama.



Sl. 11. Shema broda za prijevoz tereta na kotačima (ro-ro brod)

Gornja je paluba obično namijenjena kontejnerima pa je stoga glatka, bez grotlenih pražnica. Kontejneri se također slažu u međupalubljima, u jedan ili dva reda, već prema raspoloživoj visini. Gorivo i vodenici balast kreću se u dvodnu i u bočne tankove, koji dosežu iznad vodne linije. U usporedbi s višenamjenskim brodom, zbog tereta manje gustoće brod za prijevoz tereta na kotačima ima 10…15% veće glavne izmjere, manji gaz i mnogo veće nadvođe (tabl. 7). Radi veće brzine (15…25 čvorova, već prema području plovidbe) taj brod ima snažnije motore i malen koeficijent istisnine (0,52…0,68). Često ima i pramčani propeler za poprečni poriv, koji mu omogućuje bolje manevriranje u lukama.

Tablica 7
ZNAČAJKE NEKIH BRODOVA ZA PRIJEVOZ TERETA NA KOTAČIMA

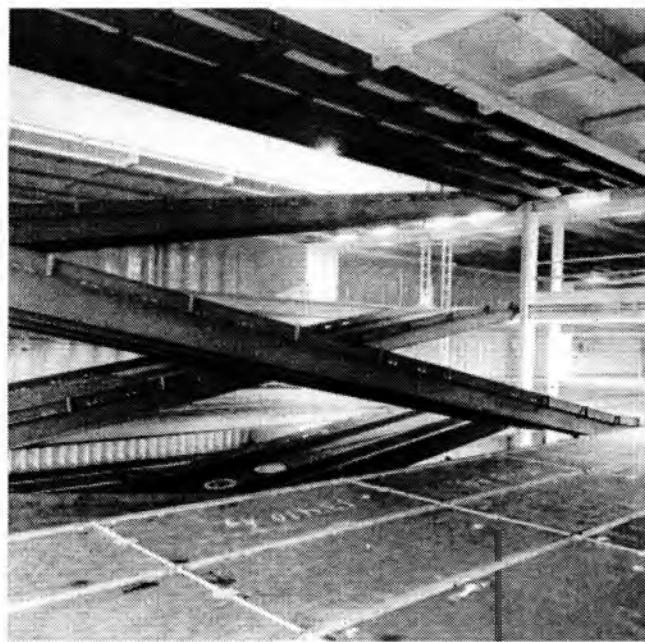
Značajka	Ime broda, zemlja i godina gradnje						
	Dana Optima, Danska, 1971.	Rodin, Francuska, 1975.	Railship I, Njemačka, 1975.	Magnitogorsk, Finska, 1976.	Boogabilla, Japan, 1978.	Gloria del Mar, Španjolska, 1981.	Transfinlandia, Njemačka, 1981.
Duljina između okomica, m	96,10	193,24	139,20	190,64	228,50	108,00	146,00
Računska širina, m	18,80	29,57	21,50	31,00	32,26	19,40	24,60
Visina, m	12,35	20,42	18,28	22,05	20,20	12,30	21,60
Gaz, m	4,95	9,80	6,50	9,70	10,80	7,90	8,24
Nosivost, t	3 450	22 050	7 096	22 690	31 458	9 000	11 645
Brzina u službi, čvor	14	21	20	20	20	14	18

Brodovi za prijevoz tereta na kotačima dijele se prema teretu koji prevoze na trajekte (v. *Brodovi, specijalni*, TE 2, str. 478) i teretne brodove. Posebni teretni brodovi služe za prijevoz velikog broja novih automobila, npr. iz Japana ili Europe u SAD. Imaju niska međupalubla, odnosno pomične palubice (platforme). Krcaju se voznjom preko rampe ili tzv. metodom lo-lo (engl. *lift on-lift off*, podigni-spusti). Danas se grade takvi brodovi nosivosti do 60 000 t, za ~6 000 automobila na 12 paluba.

Zajedničko je obilježje svim brodovima za prijevoz tereta na kotačima da imaju veći skladišni prostor nego konvencionalni teretni brodovi, radi manevriranja vozila i razmaka među njima. U brodovima u kojima jedinice na kotačima čine glavninu pot-palubnog tereta tipična međupalubna visina od palube do donjeg ruba okvirne sponje iznosi 4,4 m. Brodovi u kojima se na palube slažu dva reda kontejnera imaju međupalubnu visinu 5,8–6,4 m.

Karakteristično je da nema poprečnih pregrada u gornjem međupalublju, a često ni u donjim međupalubljima. Zbog nepregrađenih međupalublja veća je mogućnost prodiranja vode i progresivnog naplavljivanja. Ulogu poprečnih pregrada u tako građenom brodu preuzimaju široko razmaknute upore spregnute s visokim okvirnim sponjama, često u obliku kutijastih nosača, i s uzdužnim podvezama. Razmak je tih upora obično oko 15 m.

Rukovanje teretom. Lakoća rukovanja teretom ponajprije je uvjetovana brojem i širinom staza za vozila (najčešće 2,8 do 2,9 m). Karakteristična je pri tome ukupna duljina staza za vozila. Primjerice, brod duljine 180 m i širine 32,24 m ima na četirima palubama ukupno ~4 000 m staze širine 2,9 m i 540 m staze na pokrovu dvodna. O unutrašnjoj konfiguraciji paluba ovisi najprikladniji način vertikalnog transporta tereta na kotačima: ne-pomične ili pomične unutrašnje rampe (sl. 12), teretska dizala ili kombinacija oboga. Rampe su jeftinije i lakše za održavanje, ali zauzimaju više prostora.



Sl. 12. Unutrašnje nepomične međupalubne rampe na brodu za prijevoz tereta na kotačima

Da bi se bolje iskoristila visina međupalublja, postavljaju se složive palubice za osobne automobile, visine 1,7 m, na koje se automobili tovare podiznim rampama.

Pristup na brod. Vozila se kreaju na brod pomoću krmnih, pramčanih i bočnih rampa. Oko 90% svih krmnih rampa aksijalne je izvedbe (sl. 13). Stalne aksijalne i kutne krmene rampe jednostavnije su konstrukcije od zakretnih rampa, imaju manje pomičnih dijelova, ali prisiljavaju brod na pristajanje bokom ili krmom. Širina je rampe 4–12 m. Izmjere se krmenog otvora mogu približiti punoj lokalnoj širini broda da bi se postigao najveći protok vozila. Duljina rampe ovisi o nagibu, koji obično iznosi 10%. Masa je rampe 150–400 t, a većina se rampa gradi za osovinska opterećenja do 100 t. Postoje i plutajuće obalne rampe, koje ugrađene brodske rampe čine suvišnima.



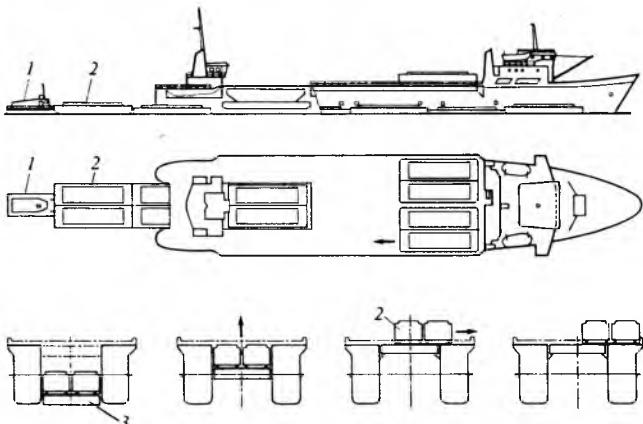
Sl. 13. Aksijalna krmena rampa

Krcanje se ubrzava dodatnim otvorom na pramcu. Pramčana vrata i rampa omogućuju jednosmjerni promet i istodobno ukrcavanje i iskrcavanje. Bočni otvori koji u prvom redu služe za nekotrljajuće terete, npr. za palete, također ubrzavaju pretovar, ali ugrožavaju cjelevitost brodskog trupa.

NOSAČ ZA TEGLENICE

Nosač za teglenice služi za prijevoz riječnih i lučkih teglenica (v. *Brodovi unutrašnje plovidbe*, TE 2, str. 493). Teglenice se pretovaruju dizalicama, dizalima ili pomoću plovoga doka. Pretovar u luci traje kratko, a transportni je učinak vrlo velik. Već prema plovidbenoj relaciji, nosač za teglenice može zamijeniti do šest teretnih brodova odgovarajuće veličine. Nosač za teglenice je brod duljine veće od 200 m i nosivosti 30 000–40 000 t. Za karakteristične brzine 18–22 čvora potrebna mu je snaga za propulziju 20–26 MW. Balastni su tankovi velikog kapaciteta da bi brod imao dobar stabilitet i s teglenicama naslaganim na palubi.

Nosači za teglenice razlikuju se prema načinu krcanja. Najčešći je nosač na koji se teglenice krcaju lučkom portalnom dizalicom te slažu poprečno na palubi, a prikladan je i za prijevoz kontejnera. Drugi je način krcanja da teglenice kroz krmu uplove pod brod. Podiznim se brodskim platformama podignu do visine odgovarajuće palube i na valjcima otkotrljaju do mjesta slaganja (sl. 14). Teglenice se slažu u tri razine. Izvedba je krme takvih brodova složena, a kako nema punih poprečnih pregrada na većem dijelu broda, potreban je pažljiv proračun čvrstoće. Postoje i nosači u kojima teglenice uplovljaju kroz pramčane otvore. Nakon zatvaranja pramca voda se crpi iz broda. Na palubi se obično slaže nekoliko redova kontejnera.



Sl. 14. Krcanje teglenica na nosač kroz otvor u krmi. 1/ brod gurač, 2/ teglenica, 3/ podizna platforma

Transport teglenicama zbog skupoće nije dobio veću primjenu, pa se nosači za teglenice grade tako da se mogu rabiti i za transport kontejnera i prikolica. Neki su nosači za teglenice preuređeni u kontejnerske brodove.

BROD ZA HLAĐENI TERET

Brod za hlađeni teret specijalizirani je brod za prijevoz prehrambenih proizvoda koji zahtijevaju specifične klimatske prilike za vrijeme transporta. Žbog nesigurnosti tržista postoji i višenamjenski brod za hlađeni teret koji može naizmjence prevoziti voće, meso ili ribu.

Grotla na brodu za hlađeni teret nisu velika da bi se pri pretovaru smanjio prodor topline u skladišta. U skladištima su ugrađene police i upore za slaganje tereta. Da se skladišta, rashladni cjevovodi, ventilacijska oprema i drugi elementi broda ne bi oštetili i onečistili, hlađeni brod ne prima drugi teret, nego plovi do luke u balastnoj plovidbi.

Brod za hlađeni teret ima velik faktor slaganja, a skladišni se prostor gubi zbog zračnih vodova i ventilacijskog uređaja, koji omogućuje $90 \cdots 100$ izmjena zraka na sat, te zbog izolacijske obloge i same rashladne jedinice. Brod se gradi s visinom većom od zbroja gaza i propisanog nadvoda. Velika visina, s brojnim palubama i dugim kaštelom te s palubnim teretnim uređajem, slab stabiilitet broda. Da bi se dobilo u prostoru, često se pramčani kaštel protegne preko prvog skladišta ili se izvodi dugo krmeno nadgrade. Konvencionalni brod za hlađeni teret ima malu visinu međupalublja ($\sim 2,5$ m).

Kapacitet standardnog broda za hlađeni teret iznosi 2 200 do $17\,000\text{ m}^3$. Duljina broda ne prelazi 160 m, a brzina mu je $20 \cdots 24$ čvora. Koeficijent istisnine je $0,55 \cdots 0,65$. Omjer duljine i širine iznosi $6,2 \cdots 7,2$, duljine i visine $10,5 \cdots 11,0$, a omjer je nosivosti i istisnine $0,57 \cdots 0,64$.

Snaga za propulziju je radi potrebne brzine broda velika (do 16 MW), a snaga za pogon rashladnog uređaja iznosi $20 \cdots 35\%$ propulzijske snage. Temperatura je skladišta $+12^\circ\text{C}$ do -30°C , već prema vrsti tereta. Brod ima pričuvne energetske jedinice da se u slučaju kvara ili popravka neke jedinice ne bi oštetio teret.

Rashladna sredstva u brodu za hlađeni teret jesu klorfluoralkani (freon 12 i freon 22, v. *Fluor*, TE 5, str. 502). Budući da štetno djeluju na Zemljino ozonsku ovojnici, oni se postupno izbacuju iz uporabe i zamjenjuju amonijakom.

BROD ZA DRVO

Brod za drvo prevozi daske, gredice i letve u svežnjima te trupce mase i do 15 t. Skladišta i palube opremljeni su uškama i prstenima za vezanje tereta. Palubni se dio tereta veže da izdrži lJuljanje, zalijevanje i zapljuškivanje. Visina drvene naslage na palubi doseže ponekad 6,6 m. Skladišta su s ravnim bočnim stjenjkama, bez stršećih dijelova konstrukcije, što se postiže ugradnjom unutrašnje oplate. Prostor između unutrašnje i vanjske opalte služi kao spremnik za vodenji balast, kao tunel za prolaz posade te za ugradnju cjevovoda i kabela. Grotla su dvojna ili velika jednostruka, a otvor u palubi zauzimaju do 80% širine broda. Nositost je broda za drvo do 25 000 t, a brzina ~ 15 čvorova.

PUTNIČKI BROD

Brod koji prevozi više od 12 putnika smatra se putničkim brodom te podliježe odgovarajućim strožim propisima, poglavito glede sigurnosti od požara i potapanja. Prema službi koju obavlja putnički brod može biti liniji, za krstarenja, trajekt, izletnički i dr.

Prekoatlantski liniji brodovi. Prvi parobrodi s lopatičnim kolima koji su preplobili Atlantski ocean bili su *Sirius* (za 19 dana) i *Great Eastern* (za 15 dana). Inspiriran tim događajima, Kanadani Samuel Cunard (1787–1865) osnovao je u Velikoj

Britaniji brodarsku tvrtku *The British and Northern American Royal Mail Steam-Packet Company*, poznatiju kao *Cunard Line*, koja se bavila prijevozom pošte i putnika preko Atlantskog oceana. Parobrod *Britania* prvi je Cunardov prekoatlantski lininski brod koji je 1840. iz Liverpoola u Halifax i Boston prevezao 63 putnika za jedanaest i pol dana. *Britania* je zajedno s brodovima blizancima *Acadijom*, *Caledonijom* i *Columbijom* sljedećih 10 godina održavala redovitu prekoatlantsku liniju.

Velika su iseljavanja iz Europe u Ameriku u drugoj polovici XIX. st. potaknula gradnju novih prekoatlantskih putničkih brodova, pri čemu se nastojao zadobiti primat glede brzine (osvajanje *Plave vrpe*), duljine ili tonaže. Tipične su dimenzije bile: duljina preko svega ~ 300 m, brzina ~ 30 čvorova i tonaža $\sim 60\,000$ BRT. Najpoznatiji su prekoatlantski liniji brodovi bili *Great Eastern*, *Lusitania*, *Aquitania*, *Mauretania*, *Titanic*, *Queen Mary*, *Queen Elizabeth*, *Bremen*, *Rex*, *Normandie*, *Michelangelo*, *United States*, *France*, *Queen Elizabeth 2* i dr. Oni su jedan po jedan nestajali s oceanskih putova, što zbog starosti, što pred naletom mlaznih putničkih zrakoplova 1960-ih godina.

Amerikanci 1950-ih godina grade svoj prvi prekoatlantski putnički liniji brod *United States*. Njegova je duljina preko svega iznosila ~ 300 m, a na svojoj je prvoj plovidbi do Europe poboljšao dotadašnji brzinski rekord za 4 čvora. Bilo je to početkom srpnja 1952. kad je preplvio Atlantik za 3 dana, 10 sati i 12 minuta, s prosječnom brzinom od 35,59 čvorova. U povratnoj plovidbi, protiv Golfske struje, trebalo mu je 3 dana, 12 sati i 12 minuta, s prosječnom brzinom od 34,51 čvor. Tako je ukupnih 5 850 morskih milja prešao srednjom brzinom od 35,05 čvorova, koju nitko nije dosegnuo 38 godina. Kako je brod bio građen kao pomoćna ratna jedinica, postojala je zabrana davanja istinitih i potpunih podataka, pa se tek nakon 25 godina doznao da je navedena brzina postignuta pri 2/3 pune snage pogonskih parnih turbina, da je ukupna snaga čak bila 180 MW te da je najveća brzina na pokusnoj plovidbi iznosila 38,32 čvora.

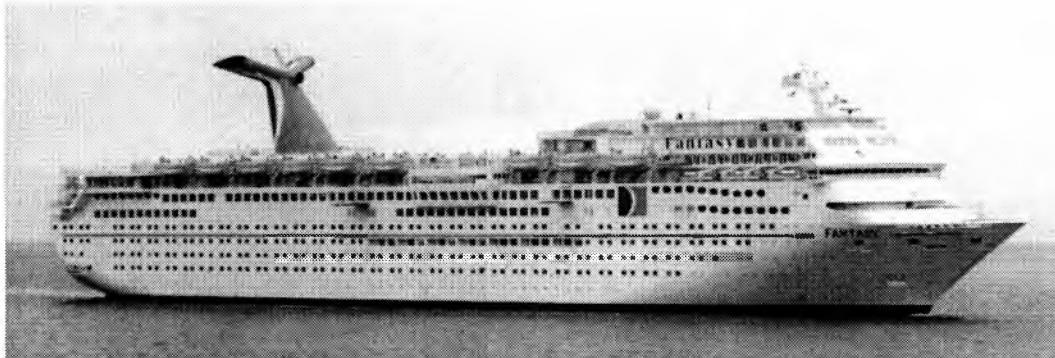
U nadgrađe broda *United States* ugrađeno je ~ 1000 t aluminija, više nego i u jedan brod dotada. Time je poboljšan stabiilitet i smanjena širina broda, što je smanjilo otpor i omogućilo veće brzine. Četrdeset godina nakon izgradnje, brod je otegljen do Carigrada, gdje je preuređen u plutajući hotel.

Queen Elizabeth 2, porinut 1968., posljednji je prekoatlantski liniji putnički brod. Pri normalnoj snazi u službi od 70 MW njegov je potrošak goriva iznosio 528 t dnevno, što je bio napredak s obzirom na predratne Cunardove brodove *Queen Mary* i *Queen Elizabeth*, koji su trošili više od 1000 t nafte dnevno.

U nadgrađe *Queen Elizabeth 2* ugrađeno je rekordnih 1100 t aluminijuske slike. Nakon 18 godina službe brod je preuređen u dizelsko-električni brod ugrađivanjem devet 9-cilindarskih srednjohodnih Dieslovinih motora koji pokreću alternatore ukupne snage veće od 90 MW. Elektromotori pokreću dva vijka promjera 5,8 m s 5 krila koja imaju upravljivi uspon. Ugrađeno je i Grimovo kolo promjera 6,70 m za poboljšanje korisnosti propulzije. Dnevni je potrošak goriva smanjen na ~ 360 t. Nakon obnove, *Queen Elizabeth*, s 900 članova posade, jedini je preostali putnički brod koji održava linijsku plovidbu između Europe i Amerike.

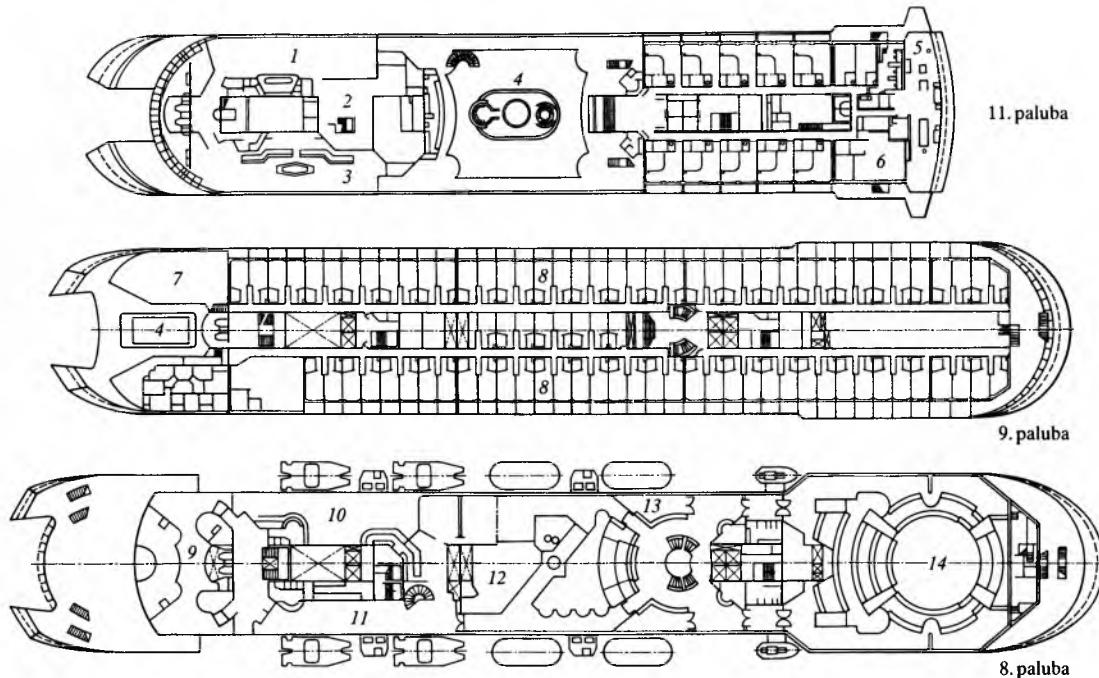
Brod za krstarenje služi za kružna putovanja, može biti različite konstrukcije i veličine. S obzirom na kvalitetu usluge svrstava se u brodove niske, srednje ili visoke klase, te u ekskluzivne brodove.

Brod niske klase (sl. 15) veliki je brod, često veći od 70 000 BRT, s velikim brojem putnika (2 500 \cdots 2 800). Površina je javnih



Sl. 15. Putnički brod *Fantasy* za 2 608 putnika. Duljina preko svega 260,8 m, širina 36 m, visina do gornje palube 40,4 m, najveći gaz 7,85 m, nosivost 7 000 t, najveća brzina 22,3 čvora, ukupna snaga za propulziju 42 240 kW

Sl. 16. Primjeri uređenja nekih paluba putničkog broda *Royal Viking Sun*. Duljina preko svega 204 m, širina 28,9 m, visina 7 m, nosivost 6150 t, četiri pogonska Dieselo-vi motori ukupne snage 21 120 kW, brzina 21,8 čvorova, 768 putnika, 469 članova posade. 1 večernji klub, 2 kuhinja, 3 vrtna kavana, 4 bazen, 5 kormilarnica, 6 zapovjednikova prostorija, 7 gimnastička dvorana, 8 kabine, 9 noćni klub, 10 igraonica, 11 prostor s glasovirim, 12 kino, 13 knjižnica, 14 plesni podij



prostora $\sim 4 \cdots 5 \text{ m}^2$ po putniku. Prosječno je trajanje krstarenja obično 3 \cdots 7 dana.

Brod srednje klase jest brod za 1200 \cdots 1600 putnika; javni su prostori veći i bolje kvalitete, kabine udobnije nego u brodovima niske klase. Krstarenja u prosjeku traju 7 \cdots 14 dana.

Brod visoke klase (sl. 16) ima mnogo veće kabine (apartmani za sve putnike, velik udio vanjskih kabina s balkonom itd.) i javne prostore ($7 \cdots 8 \text{ m}^2$ po putniku). Broj posade i putnika približno je jednak onome na brodu srednje klase.

Ekskluzivni brod također je brod visoke klase, ali je namijenjen manjem broju putnika, obično 50 \cdots 200.

Pouzdanost i sigurnost temeljna su obilježja putničkog broda za kružna putovanja. Nepropusne i protupožarne pregrade, čamci za spašavanje i druga oprema reguliraju se međunarodnim normama, koje znatno utječe na projekt broda.

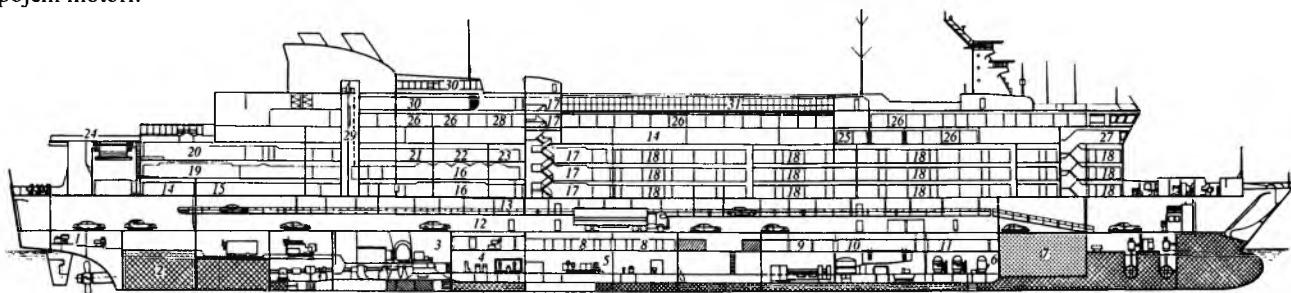
Prvi su brodovi za krstarenja bili slični prekoatlantskim linjskim brodovima, sa skupinom prvorazrednih kabina i javnim prostorijama na gornjim palubama te s preostalim kabinama na nižim palubama. S vremenom nestaje podjela na razrede pa se svi putnici mogu kretati po cijelom brodu. Vertikalni raspored, s kompaktnim višepalubnim blokom jednakih kabina ispred svih javnih prostorija, jeftiniji je za gradnju. Takvo se rješenje češće primjenjuje na velikim brodovima s većim omjerom snage pogonskih strojeva prema veličini broda, gdje bi šumovi i vibracije mogle noću smetati putnicima.

Do 1970. strojarnice su se smještale pri sredini broda, kao na nekadanim putničkim linijskim brodovima. Otada većina velikih putničkih brodova slijedi praksu teretnjaka i kontejnerskih brodova, sa strojarnicom što bliže krmi. Za pogon se najčešće ugrađuju četverotaktni srednjohodni Dieselovi motori s redukcijskim prigonom, ali se primjenjuju i sporohodni dvotaktni, izravno spojeni motori.

Budući da brodovi za krstarenje često posjećuju male luke i uvale koje nemaju tegljača, opremljeni su vijcima za poprečni poriv. Već prema veličini i standardu broda te području plovidbe, ugraduje se jedan do najviše pet poprečnih propulzora. U potonjem se slučaju tri vijka nalaze pri pramcu, a dva pri krmi. U novije se doba najčešće primjenjuje dizelsko-električna propulzija zbog fleksibilnosti, manje buke i vibracija. Brodska se električna centrala sastoji od niza jednakih dizelskih generatora izmjenične struje, koji se uključuju i isključuju prema potrebama propulzije, klimatizacijskih uređaja, propelera za poprečni poriv, brodske rasvjete i drugih trošila. Generatore obično pogone srednjohodni četverotaktni Dieselovi motori. Brzina se tih brodova u novije doba nešto smanjila i iznosi 19 \cdots 20 čvorova. Tipične su snage brodskih motora 10 \cdots 40 MW.

Posljednjih je godina izgrađeno više brodova za kružna putovanja na jedra, s Dieselovim motorom za pomoćnu propulziju. Primjerice, krajem 1992. dovršen je *Club Med 2*, ekskluzivne klase, za 410 putnika i za oceansku krstarenja. Duljina mu je 187 m, a brzina 16,4 čvora. Na pet se jarbova razapinju automatizirana jedra upravljana pomoću računala.

Trajekt. Trajetkom se općenito smatra brod koji prevozi putnike i vozila. Već je spomenuto da je trajekt koji služi samo za prijevoz cestovnih vozila ili vlakova, pa ga se na neki način može smatrati sastavnim dijelom prometnice (ceste ili željezničke pruge), opisan na drugom mjestu (v. *Brodovi, specijalni*, TE 2, str. 478). Osim takve vrste trajekta, danas se razvio i novi tip trajekta koji putnicima nudi mnogo više od pukog prijevoza. On se i ne naziva trajektom, nego brodom za prijevoz putnika i automobila. Namijenjen je za kratka međunarodna putovanja, pa i krstarenja (sl. 17), luksuzne je izvedbe, opremljen prostranim kabinama u više klase, od predsjedničkih apartmana do odjeljaka s



Sl. 17. Trajekt za krstarenje *Finnjet*. Duljina preko svega 212,8 m, širina 25,4 m, brzina 30,5 čvorova, 1 532 putnika, 350 automobila. 1 pokretanje kormila, 2 voden balast, 3 plinska turbina, 4 pumpa, 5 rashladni uredaji, 6 hidrofor, 7 pitka voda, 8 kabine klase C, 9 sauna, 10 bazen, 11 športski kabinet, 12 rampa za vozila, 13 viseća rampa, 14 trgovine, 15 glavna galerija, 16 restoran, 17 glavni trijem, 18 kabine klase A i B, 19 plesna dvorana, 20 salon, 21 igraonica, 22 disk, 23 noćni klub, 24 helikopterska platforma, 25 brodski ured, 26 prostorije za osoblje, 27 razgledno mjesto, 28 ambulanta, 29 dizalo, 30 bar, 31 sunčalište

ležajima, a predviđene su i kabine za invalidne osobe. Na više paluba s javnim prostorom za boravak putnika nalazi se trgovacki centar s prodavaonicama, salon, prostor za poslovne sastanke i predavanja, koncerte, noćni klub, prvorazredni restorani, rekreacijski centar, bazeni, saune, solarji itd.

U gradnji takvih brodova istaknuto mjesto zauzima brodogradilište Brodosplit (*Brodograđevna industrija Split*), koje je stranim naručiteljima isporučilo četiri takva broda: *Amorella* i *Isabella* izgrađeni su 1988. i 1989., *Frans Suell* 1992, a *Crown of Scandinavia* 1994. godine.

Brod *Frans Suell* ima 12 paluba, računajući od pokrova dvodna do kormilarnice. Ukupni mu je smještajni kapacitet 2333 putnika u 686 kabina, koje se nalaze na palubama br. 2, 5, 6, 7, 9 i 11. Javni je prostor uglavnom na palubama br. 7, 8, 10 i 11. Manji se automobili mogu smjestiti na podiznim palubicama (br. 4, ~1000 metara parkirne staze), a veća vozila na palubi br. 3 (vozno-parkirna staza od 2200 metara). Pokretne palubice za automobile nalaze se s obje strane središnjeg rova. Dobra prolaznost vozila postiže se zahvaljujući velikim pramčanim vratima i rampi (duljina 14,6 m, visina 5 m, širina voznog traka 7 m) te dvostrukoj krmenoj rami.

Glavne su značajke broda: duljina preko svega 169,4 m, duljina između okomica 149,8 m, najveća širina 28,2 m, najveći gaz 6,25 m, nosivost na najvećem gazu 2960 t. Propulziju daju četiri srednjohodna Dieselova motora koji su preko reduktora spojeni s dvije osovine s prekretnim vijcima. Brzina od 21,5 čvorova postiže se pri 73,6% najveće snage.

Izletnički brod služi za jednodnevne izlete s razmjerno velikim brojem putnika, na kraćim relacijama i u mirnim morima. Putnici su obično smješteni na glavnoj palubi u salonu, s avionskim sjedalima. To su manji brodovi, duljine 20–40 m i brzine 10–12 čvorova.

Hidrobus je manji plovni objekt za prijevoz putnika na kratkim stalnim relacijama, npr. na rijekama, jezerima, velikim morskim uvalama, odnosno u zaštićenom obalnom pojusu. Svaki putnik ima svoje sjedalo, obično lagane avionske izvedbe. Otvorene palube za štetnu obično nema. Brzina mu je 6–12 čvorova, već prema relaciji. Materijal za gradnju trupa aluminijска je slitina, a za pogon služi brzohodni Dieselov motor s reduksijskim trigonom.

LIT. R. Munro Smith, Merchant Ship Types. J. W. Arrowsmith Ltd., Bristol 1975. – R. Taggart, Ship Design and Construction. SNAME Edition, New York 1980. – C. Gallin, H. Hiersig, O. Heiderich, Ships and their Propulsion System Developments in Power Transmission. Lohmann und Stolterfoht, Witten 1981. – K. J. Rawson, E. C. Tupper, Basic Ship Theory, Vol. I i 2. Longman, London–New York 1983. – E. V. Lewis, Principles of Naval Architecture, Vol. I, III. SNAME Edition, Jersey City 1988–1989. – J. B. Caldwell, G. Ward, Practical Design of Ships and Mobile Units, Vol. 1 i 2. Elsevier Applied Science Edition, London–New York 1992.

I. Belamarić

TRIGONOMETRIJA, dio geometrije unutar kojeg se proučavaju trigonometrijskim funkcijama opisani odnosi između stranica i kutova u ravniškom ili sfernom trokutu. Pomoću trigonometrijskih funkcija računaju se elementi trokuta, svojstva periodičnih pojava te izvode druge funkcije (v. *Funkcije*, TE 5, str. 623).

Trigonometrijske funkcije. Kut se može smjestiti u pravokutni koordinatni sustav tako da se prvi njegov krak poklapa s pozitivnim polupravcem osi x (sl. 1). Ako su x i y koordinate bilo koje točke A drugog kraka tog kuta, a r udaljenost te točke od ishodišta 0, tada omjeri brojeva x , y , r ne ovise o izboru točke A na kraku, nego samo o svojstvu promatrana kuta, njegovoj mjeri α (v. *Planimetrija*, TE 10, str. 294). Ti su omjeri vrijednosti pripadne trigonometrijske funkcije mjere kuta α . Treba zapaziti da se i geometrijski objekt i njegova mjeru zovu kutom i jednak označavaju. Trigonometrijske se funkcije zovu (i označavaju) redom *sinus* (*sin*), *kosinus* (*cos*), *tangens* (*tan*; *tg*), *kotangens* (*cot*; *ctg*), *sekans* (*sec*), *kosekans* (*csc*; *cosec*). Definiraju se omjerima:

$$\sin \alpha = \frac{y}{r}, \quad \cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad (1a)$$

$$\tan \alpha = \frac{y}{x}, \quad \cot \alpha = \frac{x}{y}, \quad (1b)$$

$$\sec \alpha = \frac{r}{x}, \quad \csc \alpha = \frac{r}{y}. \quad (1c)$$

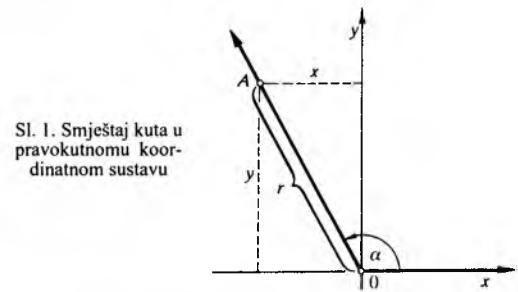
Posljednje dvije funkcije rjeđe se upotrebljavaju jer su to samo recipročne vrijednosti kosinusa i sinusa:

$$\sec \alpha = \frac{1}{\cos \alpha}, \quad \csc \alpha = \frac{1}{\sin \alpha}, \quad (2)$$

a to donekle vrijedi i za kotangens, jer je

$$\cot \alpha = \frac{1}{\tan \alpha}. \quad (3)$$

Treba napomenuti da je apsisa $x=0$ za vrijednosti kutova $\alpha=\pi/2 \text{ rad}=90^\circ$ ili $\alpha=3\pi/2 \text{ rad}=270^\circ$, pa funkcije tangens i sekans nisu definirane. Jednako tako nisu definirane funkcije kotangens i kosekans za $\alpha=\pi \text{ rad}=180^\circ$. Posebno je definirano da je $\sin 0^\circ=0$, $\cos 0^\circ=1$, $\tan 0^\circ=0$, $\sec 0^\circ=1$, dok $\cot 0^\circ$ i $\csc 0^\circ$ nisu definirani.



Za kut α određuje se pripadnost jednom od četiriju kvadrantata prema tome kojem od kvadrantata pripada točka A (sl. 1). Algebarski predznaci vrijednosti trigonometrijskih funkcija ovise o pripadnosti kutova tim kvadrantima (tabl. 1).

Tablica 1
PREDZNACI VRIJEDNOSTI TRIGONOMETRIJSKIH FUNKCIJA PO KVADRANTIMA

Funkcija	Kvadrant			
	I.	II.	III.	IV.
\sin, \csc	+	+	-	-
\cos, \sec	+	-	-	+
\tan, \cot	+	-	+	-

Između trigonometrijskih funkcija istoga kuta postoje veze, na primjer

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}, \quad (4)$$

$$\cot \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad (5)$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1, \quad (6)$$

$$\tan^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1. \quad (7)$$

Potenciranje trigonometrijske funkcije pojednostavljen je, ali normirano, označava eksponentom uz znak funkcije, dakle

$$\sin \alpha \cdot \sin \alpha = (\sin \alpha)^2 = \sin^2 \alpha, \quad (8)$$

što je različito od funkcije potencije kuta, na primjer

$$\sin(\alpha \cdot \alpha) = \sin \alpha^2. \quad (9)$$