BROC (*Rubia tinctorum*)

sailles s uvodom povjesničara H. Delbrücka. Te godine bi imenovan poslanikom u Moskvi, gdje je razvio veliku djelatnost u pravcu t. zv. istočne orijentacije u njemačkoj vanjskoj politici.

LIT.: E. Stern-Rubarth, *Graf Brockdorff-Rantzeu. Wanderer zwischen zwei Welten*, 1929. J. N.

BROCKEN, najviši vrh gore Harza u Njemačkoj, visok 1142 m. Odatle se vide tornjevi Hannovera, Magdeburga, Leipziga i Kassela. Prema pučkom vjerovanju od 14. st. dalje sastajalište je vještica u Valpurginoj noći od 30. travnja na 1. svibnja. Putnicima se ondje često nadaje prilika, da vide sliku svoju ili drugih ljudi znatno uvećanu u magli (Brockengespenst). N. Z.

BROCKES, Barthold Hinrich, * Hamburg 1680, † Hamburg 1747, njemački religioznodidaktički pjesnik i prevodilac. U svom rodnom gradu obnašao je visoke državne časti. U svom epu *Irdisches Vergnügen in Gott* (9 sv., 1721—48) slavi dobrotu Božju, koju dokazuje djela Stvoriteljeva. Ep sadržava mnoštvo žanr-slika. Pjesnik mjeri sve u prirodi prema koristi, koju čovjek iz nje crpe. To dokazuje, da je on u svojoj biti bio racionalistički nastojen, kakav je bio i milieu njegova rodnog grada, kamo je radi tijesnih trgovačkih veza na početku 18. st. u velikim mlazovima navirala iz Engleske racionalistička filozofija. S engleskoga preveo je B. Thomsonovu didaktičku pjesmu *The Seasons*. Izbor iz djela B-ovih priredio je Delius, *Der Schöpfungsgarten*, 1917; *Der Ring des Jahres*, 1920.

LIT.: Janssen, *Naturempfindung und Naturgefühl bei B.*, 1907; Lüdtke-Mackensen, *Deutscher Kulturatlas*. G. S.

BROCKHAUS, F. A., izdavački, grafički i bibliografski zavod u Leipzigu, nazvan tim imenom po *Friedrichu Arnoldu Brockhausu* (1772—1823), koji je 1805 osnovao u Amsterdamu knjižaru i nakladno poduzeće. Do svjetske je znamenitosti došlo to poduzeće, kada je 1808 preuzelo *Konversationslexikon*, započeo 1796 od Löbela i Frankea. G. 1811 preselio se Friedrich Arnold B. u Altenburg, a 1817/18 u Leipzig. Poduzeće su nastavili Friedrichovi sinovi *Friedrich* (1800—65) i *Heinrich* (1804—74). Potonji je ostao jedini vlasnik, a kad je on umro, naslijedili su ga njegovi sinovi *Eduard* (1829—1914) i *Rudolf* (1838—98). Rudolfov sin *Max* osnovao je 1893 u Leipzigu istoimenu nakladu za izdavanje glazbenih djela. Od 1895 stoji na čelu izdavačakoga, grafičkoga i bibliografskoga zavoda Eduardov sin *Albert* (1855—1921) i Rudolfov sin *Rudolf ml.* Osim velikoga leksikona, koji je tiskan već u 20. izdanju, poduzeće

izdaje *Kleines Konversationslexikon, Der kleine Brockhaus, Brockhaus* (priručnik znanja). Poduzeće je osnovalo u Petrogradu zavod *Brockhaus & Efron*, koji je izdao do svjetskoga rata ruski leksikon. Do 1914 postojale su podružnice u Parizu i Londonu.

BROCKHAUS, Hermann, * Amsterdam 28. I. 1806, † Leipzig 5. I. 1887, orijentalist, sin izdavača Friedricha Arnolda. Bio je profesor indologije na sveučilištu u Leipzigu. Izdao je 1839 u sanskrtu i u njemačkom prijevodu, a 1843 samo u njemačkom prijevodu pet prvih knjiga priča iz velikog indijskog zbornika *Kathā Śarīt Sāgara* (*Die Märchensammlung des Śri Somadeva Bhatta aus Kashmir*). Među ostalim njegovim prijevodima ističu se *Lieder des Hafis* (1854—61 u 3 sv., a 1863 u 2. izd. u 1 svesku).

BROCKMEIER, Wolfram, * Cossebaude kraj Dresdena 31. III. 1903, najprije je bio seoski učitelj, iza toga je učio germanistiku na sveučilištu u Leipzigu. Danas je glavni referent za literaturu u uredu za kulturna pitanja (Kulturamt). G. 1934 dobio je književnu nagradu grada Leipziga. Kao istaknuti liričar mlade pjesničke generacije izdao je zbirke *Sturm und Beschwörung*, 1930; *Ewiges Deutschland*, 1934; *Einkehr und Wandlung*, 1935. Napisao je niz drama za radioemisije, na pr. *Appell an die Nation*, 1932; *Deutsche Kantate*, 1933; *Bekennnis der Jugend*, 1935. Dramom *Das Erbe im Blut*, 1936, veliča seljaštvo, koje željeznom voljom i neumornim radom svladava sve poteškoće. G. S.

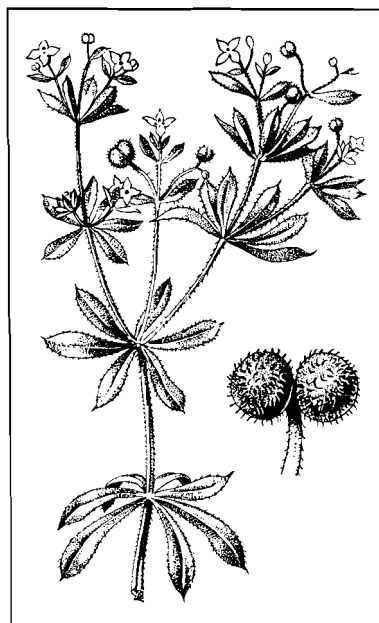
BROČ (*Rubia*) je rod trajnih zeleni iz porodice bročikovica (v.), koji se od ostalih zeljastih rodova ove porodice razlikuje time, što ima najvećma na petero iscijepan, koturast vjenčić i plod razvijen u obliku sočne bobice. U našoj se flori nalaze dvije vrste: *R. peregrina* L. (»rukodrž«) i *R. tinctorum* L. Prva vrsta ima podanak s vriježama i zimzelenu nadzemnu stabljiku sa sjedećim, ovalnim ili jajasto lancetastim »listovima«, smještenima (po 4—6) u pršljene. Cvjetovi su joj zelenkastožuti, a plodovi namežurani; biljka je raširena po svim našim primorskim krajevima i otocima, gdje predstavlja svojstvenu vrstu zimzelenih crnikinih šuma i šikara. *R. tinctorum* L. (sl.) ima podanak bez vriježa, »listove« s kratkim peteljčkama, a nadzemna joj stabljika u jesen ugiba; cvjetovi su joj žuti poput meda, a plodovi glatki. I ova vrsta raste samonikla jedino u našem primorskom vegetacijskom području, gdje je nalazimo uz putove, plotove, gromače, živice i uopće na zapuštenim mjestima, dok u ostalim krajevima dolazi samo u kulturi ili poluidivlja. S. H.-č.

Obje ove vrste, a naročito potonja, mnogo su se nekad uzgajale, jer se iz njihovih samljevenih podanaka dobivalo posebno — nekoć vrlo cijenjeno — »bročevo crvenilo«. Ta je boja poznata kao jedna od najstarijih uopće (osobito na Istoku). Korijenje se donosilo s Istoka pod imenom »lizari« ili »alizari«. U posljednje su vrijeme te kulture međutim gotovo posve napuštene, jer se glavna sastavina spomenutog crvenila

— a to je t. zv. alizarin — proizvodi umjetno iz antracena. Za istu se svrhu uzgaja u Indiji također vrsta *R. cordifolia* L. Korijenom vrste *R. tinctorum* (*Radix Rubiae*) liječi narod različite bolesti (žuticu, srdobolju, kostobolju, bubreg, krvarenje i t. d.). F. K.-n.

BROČEVAC (*Crucianella*). Mali sredozemni rod jednogodišnjih zeleni iz porodice bročikovica s gustim klasu sličnim cvatom i ljevkastim, žutim vjenčićem. Zastupan s nekoliko vrsta u području naše primorske vegetacije.

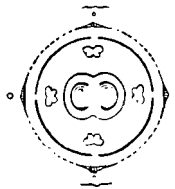
BROČIKA (*Galium*). Biljni rod por. bročikovica, koji se odlikuje koturastim, na četvero



BROČIKA

(rjeđe na troje) iscijepanim vjenčićem s vrlo kratkom cijevi, te suhim plodom. Zastupan je u našoj flori velikim brojem vrsta (u Evropi oko 100 vrsta), koje uspijevaju na vrlo različitim staništima. Među najraširenije vrste idu na pr. mekušica (*G. mollugo* L.), žuta bročika ili ivanjsko cvijeće (*G. verum* L.), bročinca (*G. aparime* L.), koja se s pomoću unatrag zavinitih četinica prihvaća i penje po drugim predmetima, močvarna bročika (*G. palustre* L.), poljska bročika (*G. tricornis* Stokes), proljetna bročika (*G. vernum* Scop.), i dr.

BROČIKOVICE (*Rubiaceae*) su biljna porodica iz reda *Rubiales* (→ sulatičnice). Njoj pripadaju zeleni i drveta s nasuprotnim (dekusiranim) listovima cijelog ruba i vrlo značajnim palistićima, koji kod različitih rodova imaju vrlo različen oblik i položaj, a kod naših su domaćih predstavnika razvijeni najvećma u obliku i veličini pravih listova. Zbog toga nalazimo kod većine domaćih rodova (na pr. kod broča, bročike i dr.) na koljencima stabljike prividne pršljene, sastavljene od po više (najvećma 4—10) naoko jednakih »listova«; no samo 2 člana svakoga od tih pršljena predstavljaju po 2 prava lista, koji stoje nasuprotno, dok su svi ostali zapravo palistići. Pravilni su cvjetovi obično združeni u raznovrsne cvatove, te su četvero ili petoročlani, sa



CVJETNI
DIJAGRAM
BROČIKOVICA

4 ili 5 prašnika i pestičem od 2 plodna lista s (najvećma) dvogradnom, podraslom plodnicom. U svakom se pregratku plodnice nalazi obično samo po 1 anatrojni sjemeni zametak, rjeđe (i to samo kod nekih stranih rodova) po više njih. Plod je različan (tobolac, boba ili koštunica), no najčešće kalavac, koji se u zreloom stanju raspada u 2 jednosjemena oraščića.

Porodici pripada oko 4.500 biljnih vrsta, koje su raširene po čitavoj zemlji, a najviše po tropskim i subtropskim krajevima. Dijeli se u dvije potporodice: a) *Cinchonoideae*; kod njenih se pripadnika nalazi u svakom pregratku plodnice mnogo sjemenih zametaka. Isključivo tropske i subtropske biljke, među kojima imaju neke, kao na pr. kininovac, johimbe, gambir i dr., i veliku praktičnu važnost. b) *Coffeoidae*; njezini pripadnici imaju u svakom pregratku plodnice samo po 1 sjemeni zametak. Ovamo ide velik dio stranih rodova i svi domaći. Važniji strani rodovi jesu na pr. kavovac, ipekakuanha, *Morinda* i dr. Izvan-tropski, uglavnom zeljasti rodovi, koji su više ili manje obilno zastupani i u našoj flori, jesu: broč, bročevac, bročika, lazarkinja, pogančica, vjenčanica i zidarščica. S. H.-ć.

BROČINICA → Bročika.

BROČNO je od 13. st. pa do dolaska Turaka bilo upravna hrvatska župa, koja je bila dio oblasti Huma. Nalazila se na desnoj strani Neretve, a zauzimala je plodno područje doline potoka Lukoča i okolno humlje između gore Trtre i one kose, što se izdiže iznad Trebižata. Na sjevernoj strani dopirala je Broćanska župa do Hrasna, a na jugu do Neretve.

Po opsegu bila je ona malena, ali je u upravnom pogledu shvatljiva, jer je sa svojim poljem i okolnim gorama činila cjelinu, kojom se dalo lako upravljati. Takve su veličine od prilike bile i sve druge okolne župe toga vremena, od kojih su s Broćnom graničile sa sjeveroistočna Blato, sa sjeverozapada Velika, s jugozapada Luka, a s lijeve strane Neretve od zapada prema istoku Zapsko, Dubrave i Večeneg. Zapravo su te župe bile upravne jedinice, koje su po svojem značenju odgovarale današnjim velikim općinama, koje se na ovom zemljištu i sada nalaze na njihovim mjestima, možda s nešto malih razlika u opsegu. Zato se nekadašnja prvotna župa Hum mogla i raspasti na te male župe, koje su onda činile sve zajedno Humsku oblast ili Humsku zemlju. Zapsko središte Broćna nahodilo se svakako ondje, gdje su danas toponomasti Gradina i Krehin gradac na visokom brdu iznad širokoga polja, kroz koje teče Lukoč. Tu je i najgušće naselje od starine, a to je i središte cijeloga područja. B. se dijelilo prije u Veliko i Malo, kao što i danas postoje Donje i Gornje Brotnje. U Velikom, sadašnjem Donjem, ležalo je ispod župskoga grada poveće naselje trgovačkoga i obrtničkoga značaja, kojemu su Turci promijenili ime u Čitluk. U tom jačem mjestu stajala je katolička crkva, koja je bila župna po svojoj prilici za cijelo bliže područje. Za dolaska turske vlasti ona je brzo propala, i katolici su ostali tu dugo vremena bez svoje crkve.

Stanovništvo Broćanske župe, kao i inače u Humu, bilo je prije Turaka hrvatsko iz dinarskoposavske struje. Ono je bilo čakavsko-šokavskoga narječja i ikavsko, a već je u 15. st. stiglo, kao i cijelo susjedno Poneretavlje, na govornu podlogu, na kojoj se je razvilo novo naglašivanje. Uz hrvatsku većinu u Broćnu je bilo, kao i inače u susjednoj planinskoj okolini, i Vlahi, i to možda manje nego u drugim graničnim župama, jer ono nije imalo velike gore i bujne planinske paše. Ti su Vlasi već do 13. st. u zajedničkom životu s hrvatskim naseljem primili hrvatski njegov jezik i počeli se već prije dolaska Turaka pretapati u Hrvate. Taj su razvitak još više pospješile nove prilike pod turskim gospodstvom. Vjerojatno je, da je uz katolike prije Turaka u Broćnu, kao i inače u Humu, bilo i dosta pristaša bosanske crkve, na što bi upućivala i činjenica, što je u 16. st. u cijelom

tom kraju ostala samo jedna katolička župa, koja je pod Turcima dugo vremena obuhvaćala cijelo donje i gornje broćansko područje. U prvom godinama turskoga gospodstva u Humu je, općenito uzevši, prešlo mnogo starosjedilaca Hrvata na muslimanstvo, te je to provedeno jamučno i u Broćnu, koje je ležalo na prometnim cestama i u blizini velikih ishodišta muslimanske promičbe. Na to mnogobrojno prelazjenje na muslimanstvo u Broćnu pokazivala bi činjenica, što je u samom trgovačkoobrtničkom starom središtu ispod nekadašnjega župskoga grada bila porušena stara katolička crkva, što su jamučno načinili domaći muslimani, jer im ta crkva nije više trebala. U kasnijem vremenu turskoga vladanja nalazimo ipak malo muslimanskoga stanovništva u Broćnu, a koliko je tu i postojalo, bilo je posjedničkog značaja. Iz toga se jasno vidi, da su pomuslimanjeni starosjedioeci u velikom broju iz toga kraja još u početku turskoga gospodstva prešli u velika susjedna muslimanska naselja, osobito u Mostar, koji je u to vrijeme nerazmjerno narastao. Ipak je i pod turskim gospodstvom u Broćnu ostao prema prilikama velik broj starosjedilaca katolika. Iz početka 17. st. postoje u izvješćima biskupa Bartola Kačića i fra Dominika Andrijaševića i spisi broćanske katoličke župe, iz kojih se vidi, da je u njoj u to vrijeme bilo do 400 katoličkih domova, sa jedno 2000 čeljadi. Taj je broj katoličkoga stanovništva na tako malome prostoru u tadašnjim prilikama bio svakako razmjerno velik, te se može reći, da je katoličko naselje u Broćnu u to vrijeme bilo isto tako mnogobrojno kao na dobro naseljenom katoličkom zemljištu u Posavini oko Brčkoga, Dervente i Gradiške. Ti su broćanski starosjedioeci katolici ostali ratari i pastiri, dok su oni pomuslimanjeni živjeli kao posjednici, trgovci, obrtnici i članovi vojničkih postrojbi u Mostaru, Domanovićima, Čapljini, Ljubuškom i drugim susjednim muslimanskim mjestima.



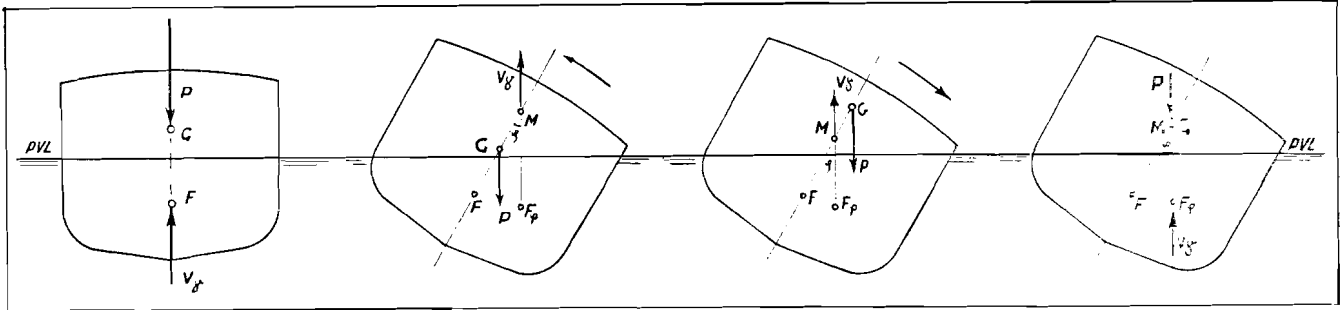
NASELJA OKO BROĆNA

segli broj od 2500 do 3000 čeljadi. Po popisu franjevačkih samostana po našim krajevima fra Ivana de Vietri B. je imalo g. 1708 samo 100 katoličkih kuća, u kojima je moglo biti 500—1000 čeljadi. Oko 2000 katoličkih Broćanaca sudjelovalo je, dakle, i prema ovome računu u seobi, koju su vodili živogoški franjevci. Nju su oni uputili dalje od Neretve na sjeverozapad u Cetinu, u kojoj je iza odseljenih mnogobrojnih muslimana ostalo mnogo puste zemlje. Broćanci su u Cetini naselili Grab, Dabar, Bitelić, Zasiok, Šatrić i Potravlje, a dalje zapadnije Muć, Gizdovac i Prugovo. Iz Cetine se odvojilo desetak obitelji i preselilo na još sjevernije zemljište u Kotare, u selo Vaćane. Od tih broćanskih naseljenika danas ima u Cetini i na mućskom području tisuće potomaka.

Poslije te seobe u Broćnu je ostalo mnogo puste zemlje, koja je tako bez većega naselja ležala nekoliko desetica godina. Poslije strašne kuge od 1733—34, koja je i u Poneretavlju pomorila velik broj naselja, nastao je među muslimanskim posjednicima toga zemljišta pokret, da na svoje puste posjede dovedu uz vrlo dobre uvjete i naseljenike iz gušće napučenih primorskih krajeva. Na tako povoljno gospodarskoj podlozi razvilo se onda od četrdesetih godina 18. st. poveće seljenje od Vrgorca, Imotskoga i južne Cetine u srednje i gornje Poneretavlje, u Posušje, Rakitno, Roško polje, Livno i Duvno. U njem su sudjelovali kroz nekoliko desetljeća osobito oni naseljenici, kojima je na domu na slaboj zemlji ili u velikim porodicama bilo otješnjalo, te su ih bili privlačili vrlo prihvatljivi uvjeti muslimana posjednika. U tom naseljivanju dobio je i B. dosta novoga stanovništva, koje je u velikom razmjeru pojačalo katoličko naselje. Ovakvo osnaženo ono se na dobroj zemlji moglo vrlo uspješno razvijati, te je od druge pole 18. st., a osobito u 19. st., napredovalo u jakoj mjeri. Iz Broćna su izišli za to vrijeme i mnogi naseljenici, koji su se selili u srednju, sjevernu i sjeveroistočnu Bosnu.

LIT.: E. Fermandžin, *Acta Bosnae*, Zagreb 1892; F. Sisić, *Letopis popa Dukljanina*, Beograd-Zagreb 1928; F. Miklosich, *Monumenta serbica*, Beč 1858; K. Draganović, *Tobožna stjepanska biskupija — ecclesia stephanensis u Hercegovini*, Croatia sacra, 7., Zagreb 1934; D. Farlati, *Illyricum sacrum*, IV., Venecija 1751—1819; S. Zlatović, *Franovci države presvet. Odkupitelja i hrvatski puk u Dalmaciji*, Zagreb 1888. S. P.ć.

Danas se imenom *Broćno* ili *Brotnjo* zove kraj u zapadnoj Hercegovini, koji se pruža između planine Trtre (689 m) i donje Neretve. Središnji niži dio sastavljen je iz nepropustljivih tercijskih stijena, na kojima ima i izvora. Od tih se izvora obrazuje povremeni potok Lukoč. Središnji dio okružuje i izdvaja od Neretve više vapnenačko zemljište. Na SZ, bliže Trtri, je Gornje B., a Donje na JI, prema Neretvi. B. je dosta plodan i dobro obrađen kraj, u kome odlično uspijevaju loza (vino »broćanac«) i



Sl. 1.

Sl. 2.

Sl. 3.

Sl. 4.

duhan. Ljeti izgone stoku na visoke planine (Čvrstica, Ljubuša i dr.) na S. Glavna su naselja Čerin u Gornjem i Čitluk u Donjem B-u.

J. R.-ć.

BROD je svako plovilo sposobno da se kreće na rijekama, jezerima i morima od jednog mjesta do drugog s pomoću ruku, neke mehaničke sprave, stroja ili jedara, a koje je predviđeno za prijevoz osoba ili dobara, za ribolov, za tegljenje ili za neku drugu zadaću po vodama unutrašnjosti zemlje ili po morima.

A. P.

SADRŽAJ: I. Teorija broda, 323. — II. Gradnja i tipovi brodova: 1. Drveni brod, 336; 2. Zeljezni brod, 339; 3. Betonski brod, 343; 4. Tipovi trgovačkih brodova, 343; 5. Ratni brod, 346; 6. Gradnja i oklop ratnog broda, 350; 7. Brodsko topništvo, 352; 8. Projekt broda, 354; 9. Čvrstoća i gradivo željeznog broda, 354; 10. Klasifikacija, baždarenje i sigurnosni propisi, 355. — III. Brodski strojevi, 356. — IV. Brodogradilišta, 362. — V. Dizanje potonulih brodova, 365. — VI. Brodarstvo (etnološki i povijesni razvitak), 367. — VII. Brod u pravu: 1. Općenito, 369; 2. Brodski upisnik, 370; 3. Brodske i plovidbene isprave, 370; 4. Vlasništvo broda, 370; 5. Stvarna prava na brod, 371; 6. Brodska posada, 371; 7. Brodske nesreće, 371.

I. Teorija broda.

Zakoni plivanja. Svako tijelo (brod), koje pliva u tekućini, istiskuje uronjenim volumenom količinu tekućine, koja je isto tako teška kao i samo tijelo (Arhimedovo načelo).

Istisnina (déplacement) zove se težina one vode, koju plivajući b. istisne svojim podvodnim volumenom. Mjeri se u tonama (1000 kg), a dobije se računski, ako se podvodni volumen broda V (u m^3) pomnoži sa specifičnom težinom vode, u kojoj brod pliva, γ ($\gamma = 1,0$ za slatku vodu, $\gamma = 1,026$ za Jadransko more). Istisnina $D = V\gamma$ tona.

Prema Arhimedovu zakonu mora za brod, koji pliva, istisnina biti jednaka težini broda: $P = D = V \cdot \gamma$ tona). Sl. 1 prikazuje b., koji pliva, u presjeku. Točka F označuje težište podvodnog volumena, t. zv. **težište istisnine**. Točka G označuje težište broda, t. zv. **težište sistema**. U težištu sistema zamišljamo djelovanje težine broda P . U težištu istisnine zamišljamo djelovanje sile, protivne sili težine, t. zv. **uzgona**. Uvjeti su ravnoteže slijedeći: 1. Težina broda mora biti jednaka istisnini: $P = D = V\gamma$ tona. 2. Težište istisnine F i težište broda G moraju ležati u istoj vertikali, i to u simetrali broda.

Stabilnost, stabilitet. Pod stabilitetom razumijevamo sposobnost broda, koji je vanjskom silom (na pr. silom vjetra) nagnut, da se opet vrati u uspravan položaj. Razlikujemo: 1. Početni stabilitet, t. j. stabilitet za male nagibe (praktički 5° do 8°) i 2. stabilitet većih nagiba.

Opseg stabiliteta je veličina najvećeg kuta nagiba, kod kojeg je b. još stabilan, t. j. vraća se sam u uspravan položaj. Nagne li se b. uslijed vanjske sile, na pr. tereta na jednom boku, to će se tom **momentu tereta** (sila x krak) suprotstaviti **moment stabiliteta**. Kod stanovitog nagiba oba će ova momenta biti u ravnoteži, t. j. jednaka. Moment, kojim se b. suprotstavlja nagibu, zove se **moment statičkog stabiliteta** ili kraće **statički stabilitet**.

Dinamički stabilitet je radnja (sila x put težišta), koja je potrebna za nagibanje broda do stanovitog kuta nagiba. Ona daje predodžbu o sposobnosti broda za plovidbu kod naglih udara vjetra ili valova.

Statički stabilitet:

a. **Bočni (poprečni) nagib.** Kod bočnog nagiba (sl. 2, 3, 4) broda uslijed bilo koje vanjske sile ostaje težište sistema G (uz pretpostavku, da na brodu nema pomičnih tereta) na istom mjestu. Težište istisnine promijenit će svoj položaj iz F u F_φ , jer se promijenio oblik podvodnog dijela broda. Sile težine i uzgona ne leže sada više u istoj

vertikali na plovnu vodenu liniju (PVL) te rezultira moment, koji, već prema položaju koji zauzme težište istisnine, može prevrnuti ili uspraviti b. B. je u prvom slučaju (sl. 2) u **stabilnom**, a u drugom (sl. 3) u **labilnom** položaju. U slučaju, da su i kod nagiba sile uzgona i težine u istoj vertikali, b. je u **indiferentnom** položaju (sl. 4).

Točka M na slikama 2, 3 i 4, koja leži na presjecištu smjera sile uzgona sa simetralom broda, zove se **metacentar**. Udaljenost težišta broda G od metacentra M zove se **metacentarska visina** \overline{MG} i ona je glavno mjerilo za prosuđivanje stabilnosti broda. U sl. 2 leži M iznad G . Metacentarska je visina **pozitivna**, b. se nalazi u stabilnom položaju, t. j. ne će se prevrnuti.

U sl. 3 leži M ispod G . Metacentarska je visina **negativna**, b. se nalazi u labilnom položaju, t. j. on će se prevrnuti.

U sl. 4 leže M i G zajedno, b. je u indiferentnom položaju.

Metacentar je kod brodova, koji plove na vodi, najviši položaj, na kojem može biti težište broda, a da on ostane još u stabilnom položaju.

b. **Uzdužni nagib.** Uvjeti stabiliteta kod uzdužnih nagiba temelje se na istim teoretskim načelima kao i kod poprečnih nagiba, samo što u ovom slučaju govorimo o **uzdužnom metacentru**, a **metacentarska visina uzdužnog nagiba** je uslijed duguljastog oblika broda, naravno, mnogo veća.

c. **Nagibi oko bilo koje osi broda.** Kod poprečnih je nagiba metacentarska visina najmanja, a kod uzdužnih najveća. Za sve ostale nagibe ostaje metacentarska visina unutar gornjih granica, te se za svaki brod istražuju samo uvjeti stabiliteta kod bočnih nagiba (obično do 90°) te početni stabilitet za uzdužni nagib.

Moment statičkog stabiliteta St (Sl. 5). B. je nagnut za kut φ i pliva na PVL_1 (PVL je plovna linija za uspravan položaj). \overline{GH} je krak ili poluga momenta stabiliteta, $\overline{GH} = \overline{MG} \sin \varphi$.

Moment statičkog stabiliteta jest

$$St = P \cdot \overline{MG} \cdot \sin \varphi = P (\overline{MF} \pm \overline{FG}) \sin \varphi$$

Kako veličina \overline{MF} ovisi uglavnom o obliku trupa, a veličina \overline{FG} o razdiobi težina brodske konstrukcije i tereta, zove se obično dio $(P \cdot \overline{MF} \sin \varphi) =$ **moment stabiliteta oblika** (forme), a dio $(P \cdot \overline{FG} \sin \varphi) =$ **moment stabiliteta težina**.

Kod nagiba broda za mali kut φ izronit će iz vode klinoviti dio v_1 , a uroniti u vodu klinoviti dio v_2 . Težišta tih klinova označena su sa S_1 i S_2 , a projekcije tih težišta na PVL_1 sa I_1 i I_2 . Poznato je, da se u slučaju pomaka jednog dijela neke mase težište čitave mase pomakne paralelno pomaku težišta toga dijela i da su pomaci obrnuto razmjerni s težinama. Na osnovu ovog možemo odrediti pomak istisnine F , to je \overline{FQ} paralelno sa $I_1 I_2$.

Istisnina se broda kod nagiba nije promijenila, te će uronjeni i izronjeni klin biti po volumenu i po težini jednaki, iako ne će biti istog oblika. Možemo dakle pisati:

$$\overline{FQ} : I_1 I_2 = v : V$$

gdje je v = volumen klina, V = istisnina broda, i odatle

$$\overline{FQ} = \frac{v \cdot I_1 I_2}{V}$$

Moment stabiliteta jest prema slici:

$$St = V \cdot \gamma (\overline{FQ} - \overline{FR})$$

odnosno, uvrstivši izraze za \overline{FQ} i \overline{FR}

$$St = V \cdot \gamma \left(\frac{v \cdot \overline{I_1 I_2}}{V} - \overline{FG} \sin^2 \varphi \right)$$

Tu je formulu postavio Atwood g. 1798.

Dinamički stabilitet. Kod nagiba broda mijenjaju težište istisnine i težište sistema svoj položaj s obzirom na plovnu vodenu liniju. Put obaju težišta može se izraziti razlikom $\overline{FG} - \overline{HF}\varphi$ (Sl. 5). Radnja (sila x put) uzgona i težine bit će dakle $(\overline{FG} - \overline{HF}\varphi) \cdot V \cdot \gamma$. Ta je radnja potrebna za nagibanje broda do kuta φ te predstavlja dinamički stabilitet:

$$St_d = (\overline{FG} - \overline{HF}\varphi) V \cdot \gamma = (\overline{FG} - \overline{HQ} - \overline{QF}\varphi) V \cdot \gamma = -[\overline{QF}\varphi - \overline{FG}(1 - \cos \varphi)] V \cdot \gamma,$$

a odatle na osnovu prije spomenutog stavka o pomacima težišta

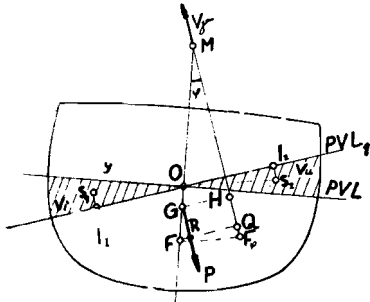
$$St_d = - \frac{v(\overline{S_1 I_1} + \overline{S_2 I_2})}{V} - \overline{FG}(1 - \cos \varphi) \cdot V \gamma.$$

Tu je formulu postavio Moseley g. 1850.

Za račun stabiliteta malih nagiba (5° do 8°) ili t. zv. početnog stabiliteta računa se visina metacentra nad težištem istisnine F na osnovu izraza:

$$\overline{MF} = \frac{I}{V},$$

gdje je I moment tromosti površine plovne vodene linije s obzirom na njenu simetralu, a V volumen istisnine. Dokaz:



Sl. 5.

(Sl. 5) Ako su » y « ordinate plovne vodene linije od simetrale broda, onda je moment jednog klinovitog dijela s obzirom na simetralu:

$$dM_k = \frac{1}{3} y \cdot \frac{1}{2} y \cdot y \, d\varphi \cdot \gamma = \frac{1}{3} y^3 \cdot d\varphi \cdot \gamma$$

$$M_k = \frac{d\varphi}{3} \int y^3 dx \cdot \gamma = i \cdot d\varphi \cdot \gamma,$$

gdje je » i « moment tromosti polovice ravnine omeđene plovnom vodenom linijom s obzirom na simetralu broda.

Moment tromosti čitave površine PVL neka je $2i = I$.

Ako je » v « volumen jednog klinovitog dijela, onda je pomak težišta

$$\overline{S_1 S_2} = \frac{2 M_k}{v} = \frac{I}{v} d\varphi.$$

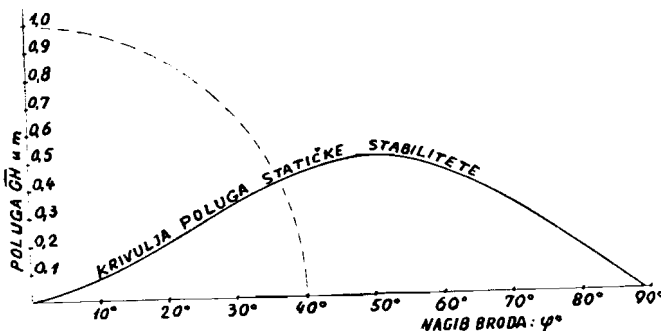
Prema prije spomenutom zakonu o pomaku težišta bit će dalje:

$$\overline{FF}\varphi = \overline{S_1 S_2} \frac{v}{V} = \frac{I}{V} d\varphi,$$

a iz trokuta $M-F-F\varphi$ slijedi

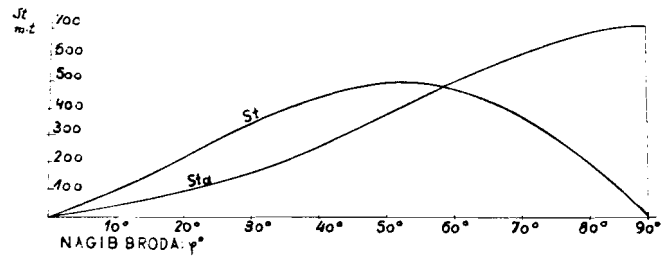
$$\overline{MF} = \frac{\overline{FF}\varphi}{d\varphi} = \frac{I}{V}$$

Kod računanja stabiliteta za veće nagibe ne možemo kao u sl. 5 polaziti s pretpostavke, da se plovne vodene linije PVL i PVL_1 sijeku u simetrali broda u točki O , jer klinovi v_1 i v_2 nijesu, uslijed većih razlika brodskog oblika, jednaki po obliku već samo po volumenu. Njihov moment ne možemo dakle izraziti momentom površine čitave plovne vo-



Sl. 6.

dene linije, već se taj mora za svaki nagib posebno računati. Ti se računi mogu provesti i s pomoću sprava: planimetra (za određivanje površina) i integratora (za određivanje površine i momenta površine). Kod različitih metoda



Sl. 7.

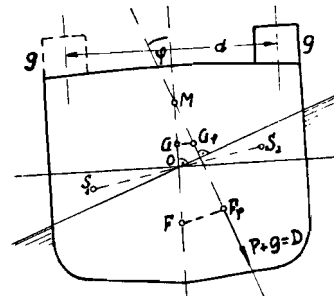
računanja uvijek se za različite nagibe i različite gazove određuje istisnina i položaj težišta istisnine, te se tako za određeni položaj težišta sistema može odrediti poluga (krak \overline{GH}) i odatle veličina momenta stabiliteta. Ovakvo izračunane veličine poluga i momenta stabiliteta prikazuju sl. 6 i 7. Krivulja poluga statičkog stabiliteta (\overline{GH}) crta se radi uspoređivanja različitih brodova uvijek tako, da 40° nagiba odgovara 1,0 metru poluge. Ova je krivulja najmjerodavnija za usporedbu stabiliteta različitih brodova.

Dinamički stabilitet (St_d) je rad potreban za nagibanje broda ili, što je isto, zbroj momenata statičkog stabiliteta (St), koji se moraju svladati kod nagibanja broda do kuta φ :

$$St_d = \int_0^\varphi St \cdot d\varphi$$

Vidimo, da integracijom krivulje momenata statičkog stabiliteta možemo odrediti dinamički. Ordinate krivulje St_d (sl. 7) prikazuju veličinu dinamičkog stabiliteta za nagibanje broda do stanovitog kuta nagiba.

Određivanje metacentarske visine \overline{MG} za početni stabilitet pokusnim nagibanjem (sl. 8). Težina » g «, točno izvagana, premješta se s boka na



Sl. 8.

bok za dužinu » d «. Kod nagiba φ moraju težište istisnine i težište sistema radi ravnoteže ležati u istoj vertikali. Slijedi:

$$\text{tg} \varphi = \frac{\overline{GG}\varphi}{\overline{MG}}$$

Težište se sistema uslijed premještanja tereta pomaklo u $G\varphi$, i to za dužinu

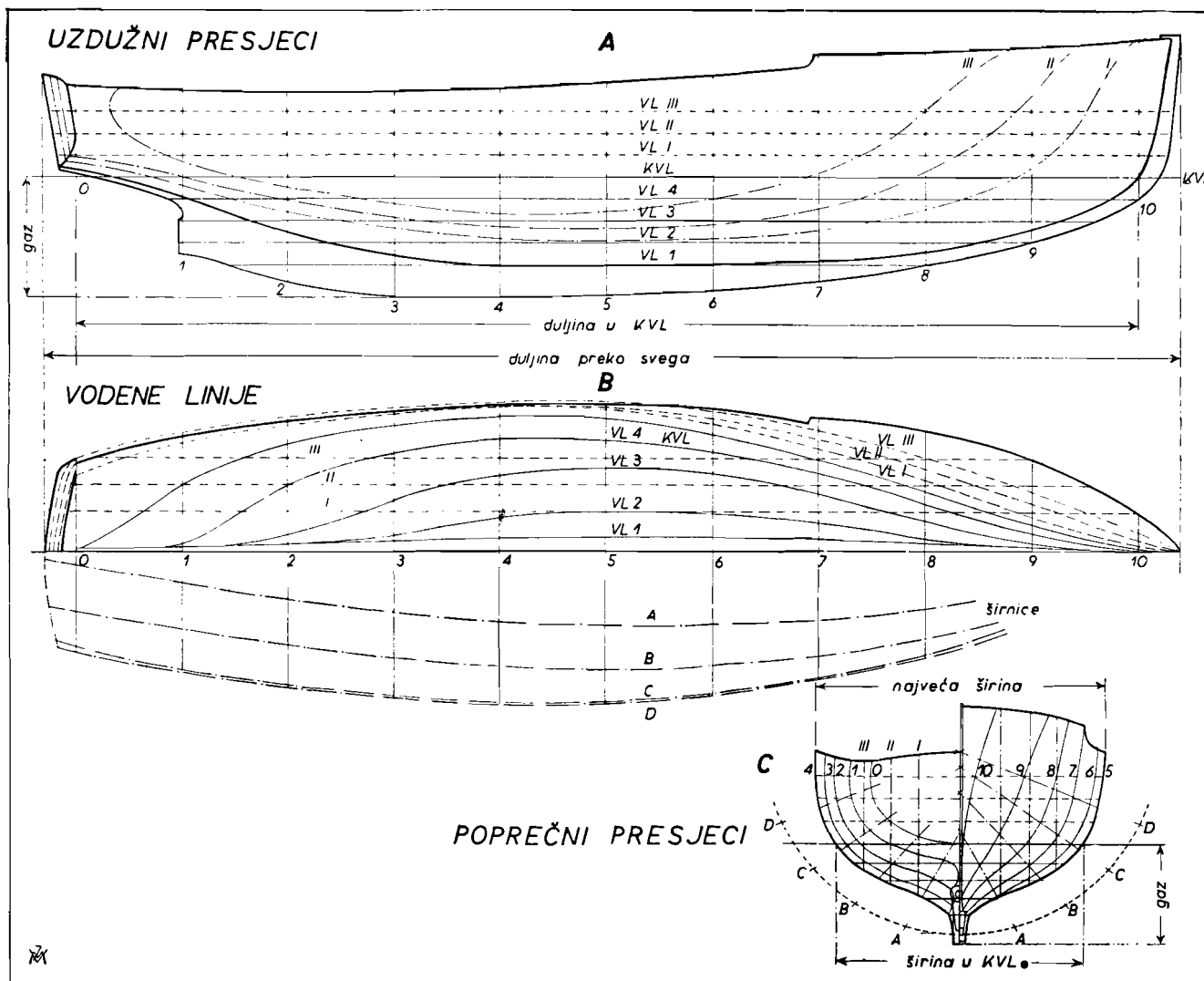
$$\overline{GG}\varphi = \frac{g \cdot d}{D},$$

gdje je D težina broda. Ovaj izraz uvršten u gornju jednadžbu daje metacentarsku visinu:

$$\overline{MG} = \frac{g \cdot d}{D \cdot \text{tg} \varphi},$$

Kod pokusa treba paziti, da brod ne bude postrance vezan, da ne bude vjetra niti bilo kakvih pomičnih tereta na brodu. Teret » g « premješta se s boka na bok i natrag, a kutovi nagiba mjere se dugim viskovima. Naročito treba paziti, da svi tankovi s vodom ili gorivom budu dobro napunjeni ili prazni, jer slobodne površine tekućine smanjuju stabilitet veoma osjetljivo. Nalazi li se u kojem prostoru broda teret, kojemu je površina pomična (voda, žito i sl.), onda se visina metacentra $\overline{MF} = \frac{I}{V}$ za male nagibe smanjuje na $\overline{MF} = \frac{I-i}{V}$, gdje je » i « moment tromosti te slobodne površine s obzirom na njenu vlastitu os. Iz toga razloga treba nastojati, da se veličine tih slobodnih površina (veličine tankova, spremišta i t. d.) ugradnjom pregrada (uduznih) po mogućnosti smanje.

Istisnina (déplacement) i računanje istisnine. Brodske linije. Kako b. nije tijelo, kojemu bi se oblik mogao lako odrediti matematskim jednadžbama, potrebno je za svaki pojedini slučaj nacrtati oblik njegovog korita.



Sl. 9.

Sl. 9 prikazuje teoretski crtež linija motornog čamca. Pojedine linije jesu:

1. *Rebra*. B. je poprečno presječen s 11 ravnina, koje su u slici označene brojevima 0 do 10. Ti se presjeci u projekcijama A i B vide kao pravci, a u projekciji C kao krivulje — linije rebra. Linija rebra crta se uvijek tako, da prikazuje vanjski rub čeličnog rebra. Debljina oplate dodaje se tek kasnije računskim putem.

2. *Vodne linije*. B. je nadalje presječen vodoravnim ravninama, koje su označene sa VL 0, VL 1 i t. d. do VL 7.

Sa KVL (*konstruktivna vodena linija*) označena je ona linija, na kojoj b. plovi, kada je opremljen i natovaren onako, kako se uzima za osnovu kod konstruiranja. Vodene linije vide se u projekcijama A i C kao pravci, a u projekciji B kao krivulje.

3. *Uzdužni presjeci* označeni su sa I., II. i III. Brod je presječen vertikalnim ravninama, koje su usporedne sa simetralom broda, a vide se u projekcijama B i C kao pravci, a u projekciji A kao krivulje.

4. *Širnice* su linije dobivene presjecanjem broda kosim ravninama A i B. Crtaju se radi kontrole oblika.

Kad su određene glavne dimenzije broda te raspodjela težina brodske konstrukcije, strojeva i tereta (centracija), pristupa se crtanju brodskih linija. Oblik podvodnog dijela broda mora zadovoljiti slijedećim uvjetima:

1. Istisnina broda do KVL mora biti jednaka ukupnoj težini broda.

2. Težište istisnine mora, u uzdužnom smislu, ležati u istoj vertikali s težištem broda, jer bi inače b. bio *pretežan* (t. j. bio bi nagnut na pramac ili krmu).

3. Oblik korita mora biti takav, da je osigurana dovoljna metacentarska visina, t. j. dovoljan stabilitet za čitav pred-

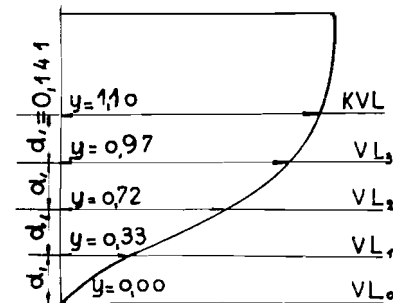
viđeni opseg stabiliteta kod određene raspodjele težina. Ispravno određivanje najpovoljnije metacentarske visine za prazan, srednje natovaren i pun brod veoma je teška zadaća. Previše stabilan b. vrlo je neugodan u vožnji, jer su mu njihaji brzi i nagli. Manje stabilan b. njiše se polaganije, što je, osim za putnike, važno i za topništvo ratnih brodova.

4. Oblik trupa mora biti najpovoljniji u pogledu otpora u vožnji, na mirnoj vodi i na valovima.

Svi su ti uvjeti vrlo složeni i mogu se zadovoljiti samo kompromisnim rješenjima.

Proračunavanje volumena i težišta volumena osniva se na računanju površina pojedinih rebra, odnosno vodenih linija. Te se površine određuju iz nacрта linija a. mjerenjem ordinata i računanjem s pomoću približnih formula; b. grafičkom integracijom i c. mehaničkom integracijom s pomoću planimetra ili integratora.

Vrlo točne rezultate dobivamo računanjem površina prema *Simpsonovu pravilu*. U sl. 10 označene su ordinate (udaljenosti presjeka rebra s vodenim linijama od simetrale) rebra, kojemu želimo odrediti površinu, s y_0, y_1, y_2, y_3, y_4 . Označena je nadalje udaljenost između pojedinih vodenih linija sa d_1 te veličine ordinata y kao primjer.



Sl. 10.

Simpsonovim pravilom aproksimirana je linija rebra parabolom drugog stepena, te je površina rebra do *KVL* dana izrazom:

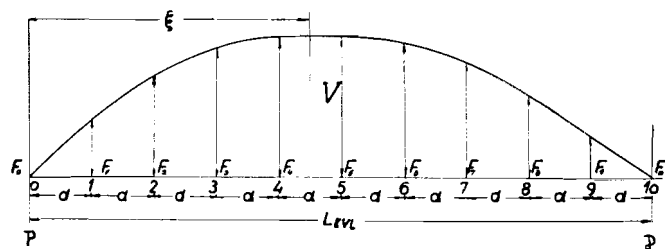
$$f = \frac{2}{3} d_1 \left[\frac{1}{2} y_0 + 2y_1 + y_2 + 2y_3 + \frac{1}{2} y_4 \right] = \\ = \frac{2}{3} \cdot 0,141 \left[\frac{0,00}{2} + 2 \cdot 0,33 + 0,72 + 2 \cdot 0,97 + \frac{1,10}{2} \right] = 0,364 \text{ m}^2$$

Površina lijevog, simetričnog dijela dodaje se ovome, te je ukupna površina plohe rebra $F = 2f = 2 \times 0,364 = 0,728 \text{ m}^2$.

Simpsonovo pravilo u općenitoj formi, za n ordinata, dato je izrazom:

$$F = \frac{2}{3} d_1 \left[\frac{y_0}{2} + 2y_1 + 1 \cdot y_2 + 2y_3 + \dots + 1 \cdot y_{n-2} + 2y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \right] \text{ m}^2.$$

Kod računa kao i kod crtanja linija treba voditi računa o tome, da broj ordinata mora biti *neparan*. S pomoću ovako izračunatih površina svih rebara broda možemo dalje po istom pravilu izračunati istisninu.



Sl. 11.

U sl. 11 nanese su prije izračunate površine rebara do *KVL*, $F_0, F_1, F_2, \dots, F_{10}$, kao ordinate u razmaku rebara d prema crtežu linija broda.

Tako dobivena krivulja zove se *skala rebara*, a njena površina do apscisne osi jednaka je volumenu broda do *KVL*.

Udaljenost težišta ove površine od P bit će također udaljenost težišta istisnine od P .

Treba dakle: 1. Odrediti površinu skale rebara. Ta je površina volumen broda do *KVL*, koji pomnožen sa specifičnom težinom vode, u kojoj brod plovi, mora biti jednak istisnini, dakle težini broda.

2. Udaljenost težišta (ξ) površine skale rebara od P (t. zv. stražnja okomica — P = prednja okomica) mora biti jednaka udaljenosti težišta broda od P . U tom je slučaju b. u uzdužnom smislu u ravnoteži, t. j. plovi bez pretege ili zatege.

Površina skale rebara V prema Simpsonovu pravilu bit će: $V = \frac{2}{3} d \left[\frac{1}{2} F_0 + 2F_1 + F_2 + 2F_3 + F_4 + 2F_5 + F_6 + 2F_7 + F_8 + 2F_9 + \frac{F_{10}}{2} \right] \text{ m}^3$, a udaljenost težišta od P :

$$\xi = d \frac{0 \cdot \frac{F_0}{2} + 1 \cdot 2 \cdot F_1 + 2 \cdot F_2 + 3 \cdot 2F_3 + 4 \cdot F_4 + 5 \cdot 2F_5 + 6 \cdot F_6 + \\ + 7 \cdot 2F_7 + 8 \cdot F_8 + 9 \cdot 2F_9 + 10 \cdot \frac{F_{10}}{2}}{\frac{1}{2} F_0 + 2F_1 + F_2 + 2F_3 + F_4 + 2F_5 + F_6 + 2F_7 + \\ + F_8 + 2F_9 + \frac{1}{2} F_{10}} \text{ m}.$$

Naravno, da ovaj račun mora biti (osim za male objekte) proveden za različite gazove. Ti se rezultati, zajedno s drugim teoretskim prikazima, crtaju u t. zv. *diagramni list*, iz kojeg možemo kasnije odčitavati podatke o gaženju i istisnini te udaljenostima težišta i t. d. za različite položaje broda na vodi.

Glavni pojmovi i dimenzije.

1. Dužina broda.

Lgr Najveća dužina, dužina preko svega. Mjeri se među okomicama položenim kroz vanjske točke broda (kormilo, čunac i t. d. ne uzimaju se u obzir).

LKVL Dužina u vodenoj liniji. Mjeri se među okomicama položenim kroz vanjske točke plovne linije (konstruktivne vodene linije — *KVL*).

Lp Dužina među okomicama (perpendikularima). Konstruktivna ili računaska dužina. Mjeri se u *KVL* među okomicama P i P položenim:

a. kod željeznih brodova s plosnom statvom od stražnjeg ruba prednje statve do prednjeg ruba stražnje statve ili preko nje, već prema propisima klasifikacionog društva.

b. kod brodova bez plosne statve od prednjeg ruba prednje statve do stražnjeg ruba stražnje statve.

c. kod drvenih brodova od vanjskog ruba utora (žljeba) prednje statve do vanjskog ruba utora stražnje statve.

2. Širina broda.

B Najveća širina uronjenog broskog tijela. Mjeri se u *KVL* ili i ispod nje, i to:

a. kod željeznih brodova do vanjskog ruba rebara,

b. kod drvenih brodova do vanjskog ruba oplata.

Bgr Širina preko svega. Mjeri se na najširem mjestu broda preko svih izbočina ili nadgrađa.

3. Gaz.

Tg Najveći gaz. Mjeri se od plovne linije do najniže točke broda uključivši kormilo i propeler.

T Konstrukcijski gaz. Mjeri se od *KVL* do donjeg ruba rebara kod željeznih, a do vanjskog ruba utora kobilice kod drvenih brodova.

4. Bočna visina.

H Mjeri se u polovici dužine broda, od horizontale kroz donji rub rebara kod željeznih, odnosno vanjski rub utora kobilice kod drvenih brodova, do gornjeg ruba sponje najgornjeg neprekinutog krova.

Ω 5. Glavno rebro je rebro najveće površine ispod *KVL*.

Ω 6. Oplakana površina je površina uronjenog dijela brodske oplata.

δ 7. Koeficijent istisnine ili koeficijent punoće oblika je odnos između volumena istisnine V (kod željeznih brodova do vanjskog ruba rebara, a kod drvenih do vanjskog ruba oplata, ali u oba slučaja bez privjesaka, t. j. kormila, propelera i t. d.) i opisanog paralelepipeda dužine L širine B i visine T .

$$T \cdot \delta = \frac{V}{L \cdot B \cdot T}$$

α 8. Koeficijent *KVL* je odnos između površine presjeka u *KVL* i opisanog paralelograma dužine L i širine B . $\alpha = \frac{KVL}{L \cdot B}$.

β 9. Koeficijent glavnog rebara je odnos između površine dijela glavnog rebara ispod *KVL* i opisanog paralelograma širine B i visine T . $\beta = \frac{\Omega}{B \cdot T}$.

φ 10. Koeficijent finoće forme je odnos između volumena određenog skalom površine rebara i opisanog tijela dužine L , a presjeka glavnog rebara.

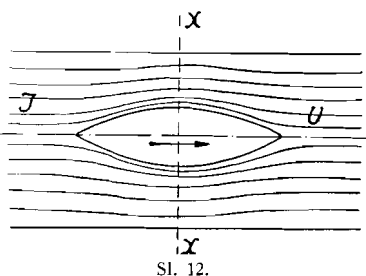
$$\varphi = \frac{V}{\Omega \cdot L} = \frac{L \cdot B \cdot T \cdot \delta}{B \cdot T \cdot \beta \cdot L} = \frac{\delta}{\beta}$$

Otpor u vožnji. Da bi se mogla odrediti potrebna snaga broskog stroja za vožnju, mora biti poznat *otpor*, kojim se voda suprotstavlja gibanju broda. Pitanje računanja otpora riješeno je do danas samo približnim formulama, dok se točniji rezultati mogu postići samo pokusima, i to: Pokusnim vožnjama već sagrađenih brodova ili tegljenjem modela broskog tijela u naročitim pokusnim stanicama. Ukupni otpor vode W može se prema uzroku postanka podijeliti na:

1. **Otpor trenja W_R .** Uslijed žilavosti vode prijanja voda kod vožnje broda uz brodsku oplatu. B. plovi izvjesnom brzinom, dok okolna voda miruje. U razmjerno tankom, t. zv. prelaznom sloju, brzina se vode mijenja, i to tako, da je sasvim uz brodsku oplatu brzina vode prelaznog sloja jednaka brzini broda (voda se lijepi uz oplatu), dok nešto dalje opada brzina vode u prelaznom sloju do ničice, odnosno do brzine okolne vode. Debljina ovog prelaznog sloja raste od pramca broda prema krmu, a isto se tako mijenja i vrst strujanja. U blizini pramca strujanje je pravilno (laminarno), a u stanovitoj udaljenosti prelazi strujanje sve više u vrtložno (turbulentno). Kod brodova s razmjerno slabo zakrivljenom oplatom ne razlikuje se otpor trenja broda mnogo od otpora trenja ravne ploče.

2. **Otpor oblika (forme) W_F .** Tijelo bez oštih prijelaza oblika, sasvim uronjeno u tekućinu bez trenja (idealnu tekućinu), moglo bi se u njoj gibati bez otpora. Kod toga

bi se gibanja mijenjala samo razdioba tlakova i brzina uzduž tijela, i to na slijedeći način: Na prednjem, ulaznom bridu (sl. 12) U , brzina je tekućine ništica, a tlak ima maksimalnu vrijednost. Uz bokove tijela brzine su



Sl. 12.

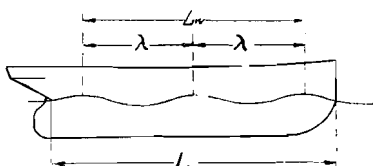
najveće, a tlakovi najmanji, dok je na stražnjem (izlaznom) bridu I , gdje se tekućina opet sastavlja, brzina tekućine ništica, a tlak je narastao na veličinu, koju je imao na ulaznom bridu. Zbroj energije strujanja i pritiska konstantan je za svaku jedinicu volumena idealne tekućine bez trenja. Tlakovi lijevo i desno od simetrale $X-X$ bit će u ravnoteži te ne će djelovati na tijelo u gibanju nikakvom silom — tijelo će se gibati bez otpora. Kako međutim b. ne plovi u idealnoj tekućini, a osim toga plovi na površini tekućine, poremećena je gore opisana promjena tlakova i brzina uz bokove, te nastaju:

a) *Otpor virova.* Uslijed trenja stvoreni prelazni sloj vode ne može dosta brzo slijediti prije spomenutu promjenu tlaka na stražnjem izlaznom bridu (krmi) te se, osobito kod naglijih prelaza te jače zakrivljenih brodskih oblika, odljepljuje od oplata i odlazi postrance u periodičkom vrtložnom kretanju — stvaraju se virovi. U tim virovima održava se jedan dio energije strujanja te nema mogućnosti, da se ta energija pretvori u tlak na stražnjem dijelu broda kao u slučaju tekućine bez trenja. Uslijed toga nema više ravnoteže tlakova s obzirom na simetralu $X-X$ te rezultira sila protivna gibanju broda, t. zv. otpor virova. Kod vitkih brodova taj je otpor neznatan.

Ravnoteža tlakova poremećena je još više djelovanjem propelera, na pr. vijka na krmi broda. Vijak stvara ispred sebe prostor niskog tlaka te tako onemogućuje ravnotežu tlakova i stvara otpor poznat pod imenom omaja (Sog). Omaja je to manja, što je oblik krme u okolini vijka vitkiji. S druge strane djeluje smanjenje pritiska i povećanje brzine vode izazvano vijkom povoljno u pogledu otpora virova. Oni se uslijed djelovanja vijka stvaraju nešto dalje straga ili uopće izostaju. Tek se kod pokusa s modelom, koji je gonjen vlastitom snagom, te usporedbom s modelom, koji se tegli bez vijka, može ustanoviti točno djelovanje vijka. Često je oblik broda, koji je bez vijka lošiji od ostalih, kod pokusa s vijkom mnogo povoljniji.

Na sam rad vijaka utječe osim toga i t. zv. sustrujanje. Kod idealne tekućine pada relativna brzina tekućine od sredine broda prema krmi do ništice. Ovo smanjenje relativne brzine tekućine zove se *sustrujanje izazvano oblikom broda* (Verdrängungsnachstrom). Kod broda u vodi ovom se sustrujanju pribraja još i *sustrujanje uslijed trenja* (Reibungsnachstrom). Voda prelaznog sloja i voda struje iza krme (Kielwasser) teku lagano u pravcu vožnje broda. Vijci prema tome rade u vodi manje relativne brzine od brzine broda.

b) *Otpor valova.* Kod gibanja broda u blizini ili na površini tekućine djeluje promjena tlakova oko broda zajedno sa silom teže, te nastaju valovi, kojima oblik, brzina i veličina podliježu stalnim zakonima fizike. Ovo stvaranje valova iziskuje stalnu potrošnju energije, koja ostaje neiskorišćena za stvaranje brzine broda. Obično se stvaraju dva sistema valova, valovi na pramcu i valovi na krmi. Oba sistema djeluju jedan na drugi te mogu doći



Sl. 13.

u rezonancu i interferencu. Kod rezonance postizava otpor valova svoju maksimalnu vrijednost, a kod interference minimalnu.

Dužina vala, stvorenog vožnjom broda, ovisi kod neograničene dubine vode o brzini broda te iznosi

$$\lambda = \frac{2\pi}{g} \cdot v^2 \text{ metara,}$$

gdje je $g = 9,81 \text{ m/sek}^2$ ubrzanje sile teže, a $v =$ brzina broda (a također i brzina vala) u m/sek. (Kod plitke vode ovo ne vrijedi. Vidi kasnije!). U sl. 13 označena je sa L_w dužina od pramčanog do krmenog vala, a sa λ dužina vala.

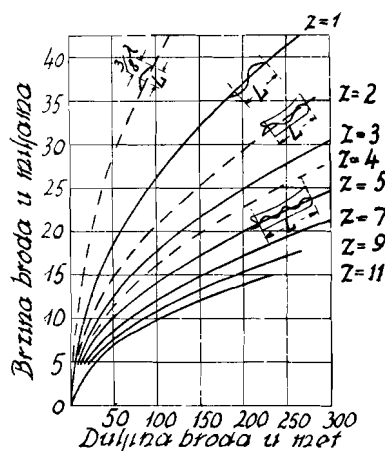
Rezonanca pramčanog i krmenog vala nastupa, kada su ispunjeni slijedeći uvjeti:

Brzina broda

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot L_w}{2\pi \cdot z}} \text{ m/sek., a } z = 2, 4, 6 \dots$$

Interferenca nastupa kod $z = 1, 3, 5 \dots$

U dijagramu sl. 14 prikazane su krivulje povoljnih (crtkano) i nepovoljnih (izvučeno) dužina broda za određene brzine, a s obzirom na otpor valova. Krivulje su i praktički ispitane (prema Johow, *Hilfsbuch f. den Schiffbau*, 5. izd.).



Sl. 14.

Dužina vala λ odnosi se prema brzini vala v , kako smo već vidjeli:

$$\lambda = \frac{2\pi}{g} v^2 \text{ m.}$$

Iz toga slijedi $\frac{v}{\sqrt{g\lambda}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \approx 0,4$.

Kako je brzina vala v , koji stvara b. u vožnji, jednaka brzini broda v , to možemo, umetnuvši u gornji izraz umjesto dužine vala λ dužinu broda L , taj izraz upotrijebiti kao karakteristiku sistema valova, koji stvara brod.

Izraz $F = \frac{v}{\sqrt{g L}}$ zove se *Froudiv broj*. Froudiv broj $F = 0,4$ znači dakle, da brod i od broda stvoreni val imaju istu dužinu. Takvi su brodovi na pr.

- Krstaš od 100 m dužine i 24,5 milja brzine
- Teglo od 25 m dužine i 12,0 milja brzine
- Čamac od 10 m dužine i 7,7 milja brzine.

Brodovi stvaraju kod istog Froudiva broja $\frac{v}{\sqrt{g L}}$ jednake sisteme valova bez obzira na njihove apsolutne dužine i brzine. Želimo li dakle, da brodski model, potreban za ispitivanje otpora u stanici za ispitivanje, stvara slični sistem valova kao i veliki brod u naravi, moramo ga tegliti u basenu t. zv. *korespondirajućom brzinom* ili prema prijašnjem tako, da bude

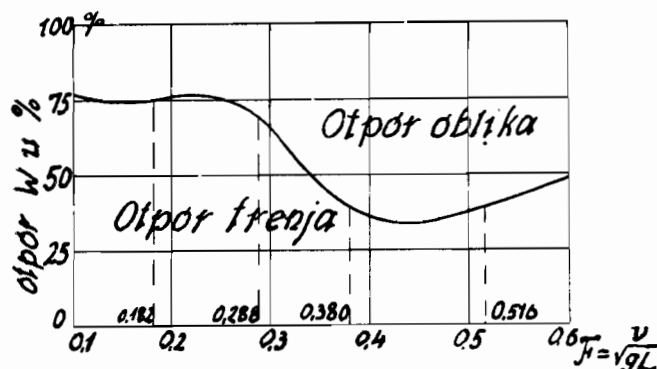
$$\frac{v_{\text{modela}}}{\sqrt{g L_{\text{modela}}}} = \frac{v_{\text{broda}}}{\sqrt{g L_{\text{broda}}}}$$

Froudiv broj daje dakle mogućnost usporedbe bez obzira na apsolutne veličine brodova.

Ukupni otpor broda u vožnji, W , jest zbroj otpora trenja i otpora oblika:

$$W = W_R + W_F$$

Kod teretnih brodova manje brzine (relativna brzina $\frac{v}{\sqrt{g L}}$ obično ne prelazi 0,25) čini otpor trenja W_R glavni dio



Teretnjak Ter. put. Brzi p. Torpiljarka
 prosječno $L=120m$ $L=165m$ $L=85m$ $L=96m$
 " $v=12Sm$ $v=23Sm$ $v=19Sm$ $v=32Sm$

Sl. 15.

ukupnog otpora. Tek kod brzih otpora i većih relativnih brzina ima otpor oblika veću vrijednost. Diagram sl. 15 prikazuje utjecaj otpora trenja i otpora oblika za neke tipove brodova kod različitih relativnih brzina $\frac{v}{\sqrt{gL}}$.

Osim spomenutih otpora trenja i oblika potrebno je u pojedinim slučajevima za određivanje ukupnog otpora dati još:

1. otpor zraka odnosno vjetra za dijelove broda nad vodom;
2. povećanje otpora uslijed djelovanja valova;
3. utjecaj plitke vode, koji već prema brzini broda može povećati ili smanjiti ukupni otpor;
4. povećanje otpora uslijed smanjenog presjeka vode kod vožnje u kanalima.

Računanje otpora i potrebne snage stroja.

Za prvo, približno računanje potrebne snage stroja može služiti t. zv. admiraltetska formula

$$N_e = \frac{D^{2/3} \cdot v^3}{C_w}$$

gdje je C_w t. zv. admiraltetska konstanta, određena kod pokusnih vožnja. C_w daje sliku o valjanosti brodskog oblika i propulzija. Sto je konstanta veća, to je bolja brodska forma i propulzija. U gornjoj formuli znači: N_e = efektivna snaga brodskog stroja u KS ($N_e = \eta N_i$); D = istisnina u tonama; v = brzina broda u morskim miljama (=1852 m).

Tabela daje vrijednosti C_w za neke novije brodove prema Schiffbau Kalender 1939.

Vrst broda	L_m	L/B	B/T	ζ	Br. vijaka	Froudov br.	C_w
Putnički brodovi	276	9,06	2,85	0,62	4	0,232	309
	179	8,17	2,58	0,69	3	0,206	322
	141	8,00	2,06	0,74	2	0,212	357
	117	7,86	2,66	0,66	1	0,212	342
	72	6,26	3,15	0,74	2	0,234	176
	53	5,70	2,30	0,46	1	0,320	270
Teretni brodovi	167	7,61	2,24	0,82	2	0,146	350
	147,4	7,35	2,43	0,784	2	0,156	304
	121,4	7,38	2,06	0,780	1	0,164	305
	106,2	7,05	2,39	0,690	1	0,224	355
	94	6,81	2,29	0,724	1	0,164	278
	82,0	6,48	2,04	0,76	1	0,190	333
	62,5	5,62	3,44	0,795	2	0,192	282
51,5	6,06	2,29	0,768	1	0,218	268	
Ribarski brodovi	49	5,45	2,21	0,584	1	0,234	215
	36	4,93	2,34	0,50	1	0,287	211
Tegla	42	4,95	2,46	0,51	1	0,304	141
	20	3,78	2,60	0,55	1	0,360	125
Barkasa	16	4,00	2,31	0,46	1	0,390	90

Iste vrijednosti C_w vrijede samo za geometrijski slične brodove kod istih Froudovih brojeva, no mogu se upotrijebiti i kod približno istih okolnosti.

Za motorne jahte i čamce uzima se C_w od 70 do 90. Točnija je formula po Brixu

$$\left[\frac{v}{24} \right]^{10/3} = \frac{PSe \sqrt{3,28 \cdot L^2}}{1000 \cdot \frac{D^{2/3}}{1,016}}$$

gdje je PSe efektivna snaga motora, D = déplacement u tonama (1000 kg), L = dužina u KVL u m, B = širina u KVL u m, v = brzina u miljama.

Sve vrijedi za motorne čamce normalnih linija. Kod vrlo finih linija poboljšanje je i do 100%.

Vrlo dobre rezultate daje formula Riehn-a za riječne brodove. Otpor W u kg:

$$W = 20 \cdot B \cdot T \left[i_1 \cdot C_1 \left(\frac{B}{2L_v} \right)^2 + i_2 \cdot C_2 \left(\frac{B}{2L_h} \right)^2 \right] v_s^{2,5} + 0,153 \cdot \frac{L}{B} \cdot B \cdot T \left(2 + \frac{a \cdot B}{T} \right) v_s^{1,83}$$

Konstante C_1 i C_2 računaju se iz

$$n_1 = \frac{a}{1 - a_v} \quad n_2 = \frac{a_h}{1 - a_h}$$

$$C_1 = \frac{n_1^3}{3n_1 - 2} \cdot \frac{1,1}{1 + n_1^2 \left(\frac{B}{2L_v} \right)^2}$$

$$C_2 = \frac{n_2^3}{3n_2 - 2} \cdot \frac{1,1}{1 + n_2^2 \left(\frac{B}{2L_h} \right)^2}$$

Konstante i_1 i i_2 računaju se iz

$$i_1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2C_1} \quad i_2 = \frac{1}{3} + \frac{2}{3C_2}$$

U gornjim formulama znači: B širina mjerena u KVL na vanjskom rubu rebara, T gaz do donjeg ruba kobilice, L_v dužina prednjeg dijela broda mjerena od prednje okomice do glavnog rebara, a kod brodova s paralelnom sredinom (onaj dio broda, gdje je oblik rebara nepromijenjen) do početka paralelne sredine, L_h dužina stražnjeg dijela broda mjerena od stražnje okomice do glavnog rebara, odnosno paralelne sredine, a koeficijent punoće KVL , a_v koeficijent punoće dijela KVL dužine L_v , a_h koeficijent punoće dijela KVL dužine L_h , v_s brzina broda u met/sek.

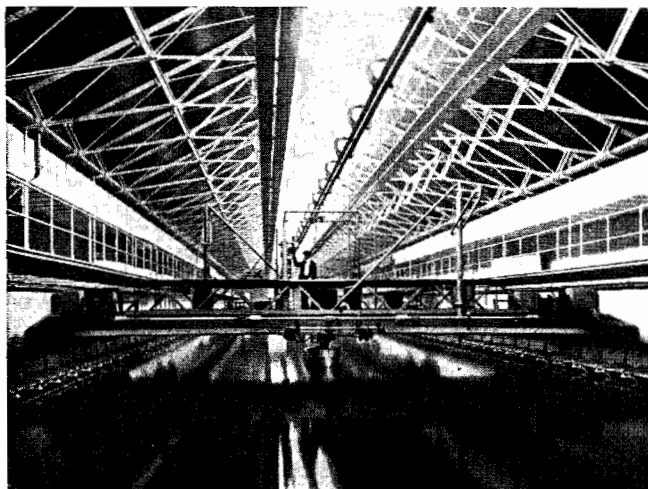
Prvi dio Riehnove jednadžbe određuje otpor forme, a drugi otpor trenja. Za određivanje ukupnog stepena djelovanja propulzije i stroja daje Riehn sljedeću tabelu (vrijedi samo u vezi s njegovom formulom!):

$\eta = \frac{EPS}{PS_i} = \frac{\text{rad otpora}}{\text{indicirana snaga stroja}}$	Za EPS:	
12 do 15	0,26 do 0,30	
16 do 20	0,30 do 0,33	
20 do 30	0,33 do 0,35	
30 do 60	0,35 do 0,40	
60 do 90	0,40 do 0,45	
90 do 120	0,45 do 0,50	
120 do 400	0,50 do 0,55	
400 do 1000	0,55 do 0,60	

Određivanje otpora broda tegljenjem modela.

Najtočnija metoda za određivanje otpora, primijenjena najprije po Sir Williamu Froudeu g. 1871 u stanici za ispitivanje u Chelston Cross kod Torquaya (Engleska), temelji se na sljedećem:

1. 4 do 6 metara dugi model brodskog tijela, izrađen većinom iz parafina, tegli se kroz vodu u dugim basenima (Hamburg 185 m, Beč 180 m), pri čemu je model držan aparatom za mjerenje vlaka (dinamometrom), te se otpor može izravno mjeriti. Kako smo međutim prije vidjeli, da se djelovanjem propelera znatno mijenjaju uvjeti otpora, to su najmjerodavnija ispitivanja modela s vlastitim pogonom. Sl. 16 prikazuje basen i most sa spravama za mjerenje takve stanice za ispitivanje otpora.



Sl. 16.

2. Da bi se rezultati mjerenja mogli primijeniti na b. u naravnoj veličini, potrebno je, da veličina modela, njegova brzina kao i pogon modela (broj okretaja i snaga vijka) budu odabrani prema Newtonovu zakonu sličnosti. Prema Froudeu slijedi otpor oblika (otpor valova) taj zakon sličnosti. Otpor trenja ne slijedi Newtonov zakon sličnosti, ali se može dosta točno izračunati. Ovakvo izračunani otpor trenja odbije se od ukupnog otpora modela, dobivenog ispitivanjem, i tako izračuna otpor oblika modela. Na osnovu zakona sličnosti odnose se otpori oblika modela i broda kod istih relativnih brzina (Froudovih brojeva ili korespondirajućih brzina) kao istisnine. Bit će dakle

$$\frac{WF \text{ broda}}{\gamma V \text{ broda}} = \frac{WF \text{ modela}}{\gamma V \text{ modela}}$$

gdje je γV = istisnina. Tako se može odrediti otpor oblika broda, dok se otpor trenja broda računa na isti način kao i za model, pribroji otporu oblika i tako dobije ukupni otpor.

Otpor trenja za model i za brod računa Froude prema jednadžbi:

$$W_R = A_s \cdot \gamma_s \cdot \Omega \cdot v_s^{1,825} \text{ kg,}$$

gdje je Ω oplakana površina (površina uronjenog dijela broda) u m², γ_s specifična težina vode, u kojoj brod plovi, v_s brzina broda odnosno modela u m/sek., a A_s faktor određen pokusima, a ovisan o dužini broda:

$L =$ Dužina broda u m. =	10	20	30	50	100
$A_s =$	0,1591	0,1508	0,1474	0,1446	0,1422
$L =$	150	250	300		
$A_s =$	0,1405	0,1378	0,1367		

Froudov faktor A_s dobiven je pokusima s razmjerno glatkim plohama te je za normalne prilike nešto premalen.

Novija se računanja temelje na t. zv. Reynoldovu zakonu, o kojem ovisi otpor trenja. Tako daje Kempf za otpor trenja slijedeći izraz:

$$W_R = C_R \rho^{1/2} v^2 \Omega$$

$$C_R = 0,002232 \frac{2,150}{R^{0,5348}}$$

gdje je R t. zv. Reynoldov broj = $\frac{v L}{\nu}$, ν = brzina broda u m/sek., L = dužina površine u m., $10^6 \nu$ = faktor kinematske žilavosti = 1,30 m²/sek. za temp. vode 10° C., 1,00 " " " 20° C., ρ = gustoća vode u kg/sek²/m⁴ = 101,9 za temp. vode od 10° C 101,7 " " " 20° C

Na sličnom se izrazu temelje i sva novija istraživanja otpora trenja. Faktor C_R ovisi, osim o Reynoldovu broju, u velikoj mjeri i o vremenu, koje je prošlo od posljednjeg čišćenja i ličenja brodske oplate.

Činjenica, da otpor oblika (valova) slijedi Newtonov, a otpor trenja Reynoldov zakon sličnosti, uvelike otežava eksperimentalno određivanje otpora broda s pomoću modela. Prema Reynoldovu zakonu sličnosti bit će strujanja oko dvaju geometrijski sličnih tijela, kod istog Reynoldova broja, geometrijski slična. Iz Reynoldova broja vidimo, da je trenje na površini ovisno o brzini struje v , o vrsti strujanja u graničnom sloju, koje je obilježeno udaljenošću l od prednjeg brida površine, te napokon o žilavosti medija ν . Želimo li dakle kod malog modela dobiti slična strujanja kao kod broda, morali bismo model tegliti mnogo većom brzinom (uz pretpostavku istog medija). Nasuprot tome moramo kod ispitivanja otpora valova model tegliti manjom, korespondirajućom brzinom. Föttinger je pokušao odijeliti mjerenja otpora trenja i otpora oblika na slijedeći način: Načinio je od podvodnog dijela broda dva istovjetna modela te ih slijepio na plohama vodene linije. Ovaj dvostruki model tegli se dovoljno duboko ispod površine vode, a kako je model simetričan s obzirom na

Tabela I. Otpor oblika u kilogramima za 1 tonu istisnine (Prema Schiffbau Kalender 1939)

Za odnose $\frac{L}{B} = 6$ do 8		⊙ istisnine 20% L iza $\frac{L}{2}$		⊙ istisnine 10% L iza $\frac{L}{2}$		⊙ istisnine u $\frac{L}{2}$		⊙ istisnine 1% L ispred $\frac{L}{2}$		⊙ istisnine 20% L ispred $\frac{L}{2}$		⊙ istisnine 30% L ispred $\frac{L}{2}$		Najpovoljnija dužina paralelne sredine u % L
$F = \frac{v}{\sqrt{gL}}$	$\varphi = \frac{\delta}{\beta}$	B : T		B : T		B : T		B : T		B : T		B : T		
		2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	
0,13	0,70	0,13	0,24	0,13	0,24	0,12	0,22	0,11	0,21	0,12	0,22	0,13	0,23	33,5
	0,74	0,15	0,29	0,14	0,26	0,13	0,24	0,12	0,23	0,13	0,24	0,14	0,26	
	0,78	0,22	0,42	0,18	0,34	0,15	0,29	0,15	0,27	0,15	0,28	0,15	0,29	
	0,82	0,39	0,74	0,25	0,48	0,20	0,37	0,18	0,36	0,20	0,37	0,21	0,39	
0,15	0,70	0,22	0,37	0,21	0,36	0,20	0,35	0,20	0,33	0,21	0,35	0,22	0,36	32,5
	0,74	0,27	0,45	0,23	0,39	0,22	0,37	0,22	0,36	0,22	0,37	0,23	0,39	
	0,78	0,40	0,67	0,29	0,49	0,26	0,43	0,25	0,42	0,25	0,42	0,26	0,43	
	0,82	0,69	1,15	0,40	0,67	0,33	0,54	0,33	0,55	0,34	0,57	0,35	0,59	
0,17	0,70	0,35	0,54	0,31	0,48	0,31	0,38	0,31	0,47	0,33	0,50	0,35	0,34	27,0
	0,74	0,42	0,65	0,36	0,55	0,34	0,52	0,33	0,52	0,34	0,53	0,37	0,57	
	0,78	0,64	0,98	0,45	0,70	0,40	0,61	0,39	0,60	0,40	0,62	0,44	0,64	
	0,82	1,08	1,67	0,64	0,98	0,51	0,79	0,51	0,84	0,59	0,91	0,70	1,08	
0,19	0,70	0,52	0,74	0,46	0,66	0,45	0,65	0,46	0,67	0,49	0,71	0,53	0,77	27,0
	0,74	0,62	0,89	0,53	0,77	0,49	0,71	0,50	0,72	0,53	0,76	0,58	0,83	
	0,78	0,98	1,41	0,70	1,01	0,61	0,88	0,61	0,88	0,69	1,00	0,79	1,14	
	0,82	1,76	2,53	1,09	1,57	0,90	1,30	0,97	1,40	1,16	1,68	1,49	2,15	
0,21	0,70	0,75	1,02	0,66	0,90	0,64	0,87	0,68	0,93	0,74	1,00	0,81	1,11	19,5
	0,72	0,80	1,08	0,71	0,96	0,68	0,92	0,71	0,97	0,79	1,07	0,93	1,26	
	0,74	0,94	1,28	0,81	1,09	0,74	1,01	0,77	1,05	0,90	1,22	1,08	1,47	
	0,76	1,20	1,63	0,94	1,28	0,85	1,16	0,91	1,24	1,08	1,47	1,31	1,77	
0,23	0,70	1,18	1,53	0,98	1,28	0,90	1,17	1,02	1,32	1,23	1,60	1,55	1,90	19,5
	0,72	1,35	1,75	1,18	1,53	1,11	1,45	1,19	1,55	1,42	1,85	1,85	2,40	
	0,74	1,64	2,14	1,54	2,01	1,46	1,89	1,54	2,00	1,78	2,31	2,41	3,13	
	0,76	2,25	2,92	2,08	2,70	1,98	2,58	2,07	2,69	2,54	3,30			

⊙ = oznaka za težište.

površinu plovne vodene linije, utječu tlakovi vode stvoreni obim polovicama međusobno tako, da se sasvim izlučuje stvaranje valova i postizava simetrično strujanje s obzirom na presjek plovne vodene linije. Polovica izmjenjenog otpora ovog dvostrukog modela predstavlja otpor trenja modela. Taj se otpor odbija od ukupnog otpora, koji se mjeri na normalni, Froudov način, i tako izračuna otpor valova. Tako dobiveni otpor valova može se kao i prije prema Newtonovu zakonu sličnosti preračunati za veliki brod.

Preračunavanje otpora trenja osniva se na posebnom ispitivanju, jer je, kao što smo već spomenuli, za ovo potrebna velika brzina modela. Kod velikih razlika u veličini modela i broda ne bi se praktički ni mogla postići tako velika brzina modela. Srećom, nakon stanovitve veće brzine otpor trenja postaje neovisan i o Reynoldovu zakonu, te je dovoljno istraživanje do te brzine.

U tabelama I. i II. unesen je otpor oblika W_F dobiven ispitivanjima većeg broja modela u ispitnim stanicama. Otpor je dan u kilogramima za jednu tonu istisnine i za relativne brzine od 0,13 do 0,33. Kod nižih Froudovih brojeva (tabela I.) uzeta je u obzir razdioba istisnine po dužini broda, položajem njenog težišta (ispred ili iza polovice dužine broda) te najpovoljnijom dužinom paralelne sredine broda. Za svaki 1% dužu (kraću) paralelnu sredinu od one, koja je u tabeli navedena, treba otpor za 1% povećati (za ½% umanjiti). Otpor je dan za b. bez privjesaka (kormilo, skrokovi, oplata vijčane osovine). Za skrokove i oplatu vijčane osovine (Wellenhosen) treba otporu oblika dodati 5% kod $\delta = 0,8$, pa do 20% kod $\delta = 0,6$.

Dužina L uzima se za brodove sa dva vijka približno L_{pp} , a kod brodova s jednim vijkom od prednje statve do vijčane statve.

U tabeli II. uzeta je razdioba istisnine po dužini prema t. zv. stepenu oštine $\frac{L}{\sqrt[3]{D}}$ (D = istisnina).

Na osnovu ovih tabela može se kod osnivanja interpolacijom odrediti otpor oblika te ovom dodati otpor trenja

izračunan prema prije navedenim jednadžbama i tako dobiti ukupni otpor W . Iz ovog se može odrediti efektivna snaga potrebna za svladavanje otpora kod brzine v (met/sek.)

$$EPS = \frac{W \cdot v}{75}$$

a odavle, uzevši u obzir stepen djelovanja propulzije i gubitke u ležajima i brtvama, efektivna snaga stroja.

Otpor zraka može se kod vožnje u mirnom zraku uzeti sa 2% od otpora vode, dok je za vjetar u pramac

$$W_W = \zeta \frac{\rho^1}{2} v_1^2 F_1 \text{ kg, gdje je } \rho^1 = \text{gustoća zraka} = 0,125 \text{ kg.}$$

$m^{-4} \cdot \text{sek}^2$, v_1 = relativna brzina zraka prema brodu u m/sek, F_1 = površina broda s nadgrađima projiciranima na glavno rebro u m^2 , ζ = faktor ovisan o obliku nadogradnja. Za obične = 1,0, a za aerodinamički dobro izvedene 0,6 do 0,7.

Otpor na valovima. Kod vožnje na valovitom moru imaju uzdužno ljuljanje ili posrtanje (Stampfen) te usporredno uronjavanje (Tauchen) naročito velik utjecaj, te je kod odnosa dužine broda naprama dužini vala 1,73 usporredno uronjavanje najveće, a posrtanje najmanje, dok je kod odnosa 1,22 posrtanje najveće, a usporredno uronjavanje najmanje. U sjevernom Atlantiku, gdje prevladavaju valovi od 90 m dužine, bila bi prema tome najpovoljnija dužina broda od oko 135 m. Smanjenje brzine vožnje na valovima uvjetovano je samim ljuljanjem, ali i promjenljivim opterećenjem vijka, što opet ima za posljedicu smanjenje stepena iskoristivosti vijka. Od naročito velikog utjecaja je i oblik broskog tijela, naročito pramca. U dijagramu sl. 17 prikazan je gubitak brzine Δv kod vožnje na valovima prema vožnji na mirnoj vodi u ovisnosti od koeficijenta istisnine δ (prema Kentu).

Utjecaj valova može se kod tegljenja modela izravno mjeriti u pokusnim stanicama, gdje je naročitim napravama omogućeno stvaranje valova.

Utjecaj plitke vode. Za stvaranje normalnih valova potrebna je stanovita dubina vode. Kod plitke vode nastaju t. zv. zgrnuti valovi, kojima je brzina

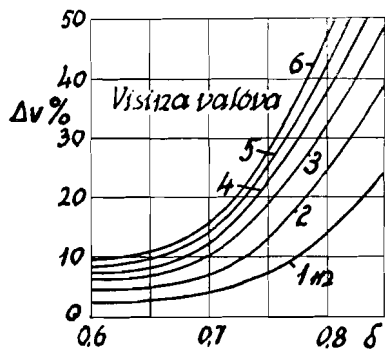
Tabela II.

Otpor oblika u kilogramima za 1 tonu istisnine
(Prema Taylor, Speed and Power of Ships)

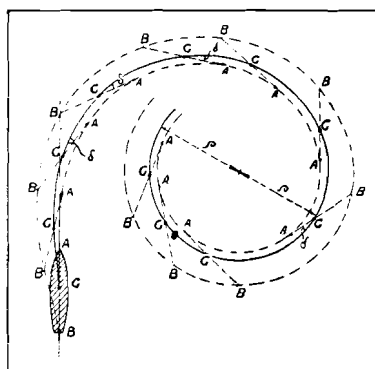
Froudov broj $F = \frac{v}{\sqrt{gL}}$	Koeficijent finoće forme $\gamma = \frac{\delta}{\beta}$	Širina $B = 2,25$ gaz T			$\frac{B}{T} = 3,75$		
		$\frac{L}{\sqrt[3]{D}} = 5,0$	$\frac{L}{\sqrt[3]{D}} = 5,5$	$\frac{L}{\sqrt[3]{D}} = 6,0$	$\frac{L}{\sqrt[3]{D}} = 5,0$	$\frac{L}{\sqrt[3]{D}} = 5,5$	$\frac{L}{\sqrt[3]{D}} = 6,0$
		0,23	0,56 0,60 0,64 0,68	0,56 0,65 0,75 0,89	0,55 0,63 0,73 0,87	0,57 0,66 0,76 0,86	0,90 0,97 1,08 1,21
0,25	0,56 0,60 0,64 0,68	0,90 1,03 1,19 1,37	0,81 0,97 1,15 1,36	0,77 0,92 1,11 1,34	1,06 1,29 1,54 1,82	1,00 1,21 1,45 1,77	0,94 1,11 1,38 1,72
0,27	0,56 0,60 0,64 0,68	1,26 1,67 2,09 2,50	1,13 1,57 2,04 2,46	1,08 1,51 1,96 2,41	1,39 1,85 2,44 2,96	1,32 1,77 2,37 2,84	1,28 1,69 2,24 2,91
0,29	0,56 0,60 0,64 0,68	1,91 3,18 4,69 6,15	1,74 2,92 4,28 5,78	1,66 2,71 3,95 5,31	2,10 3,08 4,33 5,58	2,01 3,01 4,26 5,52	1,95 2,90 4,01 5,28
0,31	0,56 0,60 0,64 0,68	2,45 4,30 7,60 10,76	2,41 4,09 6,88 9,63	2,32 3,86 6,13 8,59	3,27 4,80 6,95 10,04	3,05 4,59 6,76 9,53	2,99 4,34 6,31 8,85
0,33	0,56 0,60 0,64 0,68	3,81 5,30 8,81 13,94	3,52 5,02 8,01 11,96	3,32 4,72 7,12 10,18	5,57 6,62 9,18 12,97	4,90 6,17 8,68 12,23	4,36 5,65 7,95 11,09

$c = \sqrt{g t}$ $t =$ dubina vode
 $g =$ ubrzanje sile teže = 9,81
 neovisna o brzini broda.

Svakoj dubini vode odgovara val određene brzine. Zgrnuti val djeluje na pretegu broda (pretega je razlika gaza pramca i krme), razina se vode uz bokove spušta te tako ubrzava strujanje uz bokove, što povećava otpor trenja. Uslijed pretege čini se kao da se b. penje na val. Ove pojave djeluju najnezgodnije kod brzine broda $v=c=\sqrt{g t}$.



Sl. 17.



Sl. 18.

Poraste li naprotiv brzina broda tako, da prijede brzinu zgrnutog vala, t. j. za $v > c$, mijenja se pretega, nestaje protustruje uz bok, b. kao da se spušta sa zgrnutog vala, te otpor može postati i manji od onog u dubokoj vodi. Kod vožnje u kanalima nastaju slične pojave, još nezgodnije uslijed ograničenog presjeka kanala. Nastaje t. zv. slega, te je razina vode ispred broda viša od one iza broda.

Kormilarenje. Kod kormilarenja djeluju na brod: 1. poriv propele-
 ra; 2. pritisak kormila i
 3. otpor vode, koji uslijed okretanja ne djeluje više u pravcu uzdužne osi broda.

Gibanje broda kod kormilarenja vidi se iz slike 18. B. se okreće oko osi, koja prolazi njegovim težištem. Težište se giba po krivulji, a tangenta na tu krivulju zatvara sa osi broda t. zv. derivacioni ugao δ . Nalazi li se kormilo na

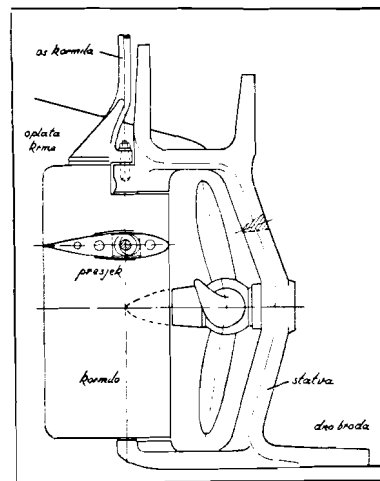
krmi broda, ostaje pramac unutar, a krma izvan luka krivulje. Kod smještaja kormila na pramcu položaj je obrnut. Veličina derivacionog ugla ovisi o omjeru otpora u pravcu osi broda i bočnog otpora, a može se praktički ispitati tegljenjem broda. Poznavanje ugla derivacije važno je kod manevriranja. Nakon okreta od oko 90° postaje gibanje broda gotovo kružno, te se pojedine točke broda giblju u koncentričnim krugovima. Kako okretanje oko težišta ovisi o polarnom momentu tromosti broda, to je za dobro kormilarenje važno, da taj moment bude što manji, t. j. treba izbjegavati velike težine (topništvo, oklop, balast) na krajevima broda.

Posljedica je kormilarenja osim okretanja još i nagibanje broda i promjena u gazu krme i pramca (pretega). Sila na kormilo uzrokuje moment, koji nagiba b. Taj moment može biti umanjen ili uvećan djelovanjem vijka, koji također stvara moment suprotan smjeru okretanja vijka. Kod prijelaza iz ravnog smjera vožnje u okretanje nagnut će se dakle b. najprije uslijed momenta kormila na onu stranu, na koju je okrenuto kormilo. Taj će nagib biti kod broda s jednim vijkom umanjen djelovanjem vijka, ako se vijak okreće na stranu, kamo je okrenuto kormilo, a uvećan, ako se vijak okreće obrnuto. Kad je b. već počeo jednoliko se okretati, djeluje na b. i centrifugalna sila (zamišljeno djelovanje u težištu broda), koja zajedno sa silom kormila i postranim otporom vode čini novi moment, koji obično nagne b. prema vanjskoj strani kruga okretanja. Jedino u slučaju, da težište broda leži vrlo nisko (više od T/2 ispod vode), može se dogoditi, da taj moment naginje brod prema središtu kruga okretanja, i to tim jače, što je niže težište plohe kormila.

(jedrilice, vidi sl. 27). Kosim položajem osovine kormila nastaje sila upravljena prema dolje, koja sprečava nastanak pretege.

Veličina kormila. Veličina površine kormila određuje se prema iskustvu te iznosi od prilike:

kod preoceanskih brodova	1/50 do 1/70 L · T
kod brzih preoceanskih brodova	1/85 L · T
kod teretnjaka duge plovidbe	1/50 do 1/65 L · T
kod manjih teretnjaka i jedrenjaka	1/40 do 1/50 L · T
kod tegla i prevoza	1/30 do 1/40 L · T
kod ratnih brodova	1/30 L · T (linijski) do 1/50 L · T (brzi krstaši).



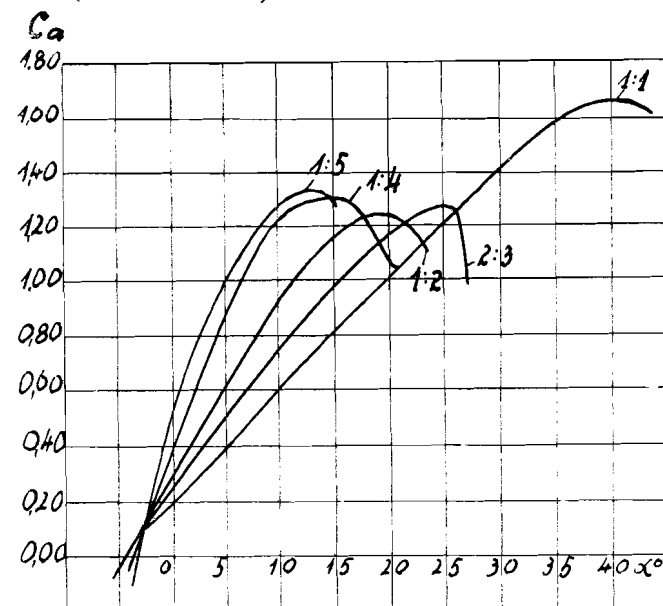
Sl. 19. «SIMPLEX», BALANSNO KORMILO

Ovo je međutim vrlo približno, jer pritisak na kormilo za različite kutove ovisi u velikoj mjeri o omjeru visine naprama širini kormila, o presjeku kormila i konačno o smještaju na samom brodu. Iz diagrama sl. 20 vidi se, kako se mijenja konstanta pritiska c_a u ovisnosti od položajnog kuta kormila za različite omjere širina: visina pravokutnika (od 1:1 do 1:5).

Oblik kormila bira se tako, da zajedno s krmom i vijkom čini harmoničku cjelinu. Kormilo brzih brodova u presjeku je gotovo uvijek tijelo najmanjeg otpora (vidi presjek sl. 19.). Kod velikih brzina, i prema tomu i velikih sila za okretanje običnog kormila, izvodi se balansno kormilo (sl. 19), kod kojeg su potrebne manje snage za okretanje, jer je os kormila pomaknuta prema sredini plohe kormila. Usprkos toga strojevi su za okretanje kormila još uvijek vrlo jaki. Najmanju snagu za kormilarenje treba t. zv. Flettnerovo kormilo, gdje je na stražnjem bridu velike plohe kormila smješteno posve malo kormilo, a za njegovo je pokretanje dostatna ručna snaga. Ovo malo kormilo okreće veliko. Kod vožnje natrag okreće se čitavo kormilo za 180°.

Pritisak na kormilo može se približno izračunati po formuli Rankinea $N = 11 F \cdot v^2 \cdot \sin^2 \alpha$, gdje je F ploha kormila u m^2 , a v brzina u miljama, $\alpha =$ kut, pod kojim je kormilo okrenuto.

Ovo je međutim vrlo približno, jer pritisak na kormilo za različite kutove ovisi u velikoj mjeri o omjeru visine naprama širini kormila, o presjeku kormila i konačno o smještaju na samom brodu. Iz diagrama sl. 20 vidi se, kako se mijenja konstanta pritiska c_a u ovisnosti od položajnog kuta kormila za različite omjere širina: visina pravokutnika (od 1:1 do 1:5).



položaj kormila

Sl. 20.

Iz dijagrama vidimo, da je za male kutove povoljnije usko visoko kormilo. Kvadratična kormila daju doduše apsolutno veće sile, ali tek kod većih kutova. Kod normalne vožnje, gdje je važno samo držanje smjera, bit će dakle usko i visoko kormilo povoljnije. Kada je potrebna veća pokretljivost broda (u lukama ili kod riječnih brodova), povoljnije je kormilo kvadratičnog oblika. Maksimalni pritisak kormila leži, kako se vidi, između 12° i 14° . Kod kormila, koja u presjeku nisu ravne ploče, već profili kao u sl. 19, mogu se samo prema pokusima s modelima odrediti konstante pritiska c_R , a čitav pritisak izračunati po formuli

$$R = c_R \cdot F \cdot \varrho/2 \cdot v^2 \quad \varrho/2 = \gamma/2g$$

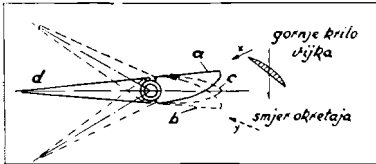
Za određivanje snage stroja za okretanje kormila moraju biti poznati pritisak na kormilo R i udaljenost središta pritiska od osi kormila x . Onda je ukupna radnja za okretanje do kuta α :

$$\alpha = \max. \\ A = \int_0^\alpha R \cdot x \cdot d\alpha \\ \alpha = 0$$

Na osnovu prije spomenute formule Rankinea bit će rad $A = 11 \cdot F \cdot v^2 \cdot x/2 (\alpha - \sin \alpha \cos \alpha)$ mkg.

U svrhu poboljšanja čitave propulzije postoji čitav niz patenata, koji zgodnim profiliranjem kormila, odnosno kormilne statve, iskorišćuju i poboljšavaju struju vode iza vijka. Sl. 21 prikazuje t. zv. Star-contra kormilo. Kormilna statva prelazi od sredine osovine vijka prema gore postepeno u profil a , a prema dolje postepeno u profil b (crtkano). Izvan vijčanog kruga statva je simetrična (c).

Tako profiliranom statvom iskorišćuje se struja vode iza vijka, koja osim u smjeru osovine struji i spiralno (uslijed vrtnje vijka). Kormilo zajedno sa statvom čini profil, koji u spiralnoj struji vode iza vijka daje brodu dodatni poriv. Kako voda struji u gornjem dijelu u smjeru x , a u donjem u smjeru y , ima i statva gore i dolje različne oblike (a i b).



Sl. 21. a, b, c kormilna statva, d kormilo

dnoliko spuštanje i dizanje čitavog broda (usporedno uronjavanje).

Prema teoriji o isohronom njihanju možemo b., koji se valja, usporediti s fizičkim njihalom. Vrijeme potrebno za jedan njihaj fizičkog njihala jest

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{K^2}{g \cdot s}}$$

gdje je K radij tromosti, a s udaljenost težišta mase od objesišta. Uz pretpostavku, da kod malih nagiba metacentarska visina ostaje konstantna, možemo umjesto s pisati u jednadžbi \overline{MG} , a ako uvrstimo

$$g = \frac{\text{težina broda}}{\text{masa broda}} = \frac{P}{M}$$

i budući da je momenat stabiliteta $M_{st} = P \cdot \overline{MG} \sin \varphi$, sledi vrijeme trajanja jednog potpunog njihaja broda (od jednog boka na drugi)

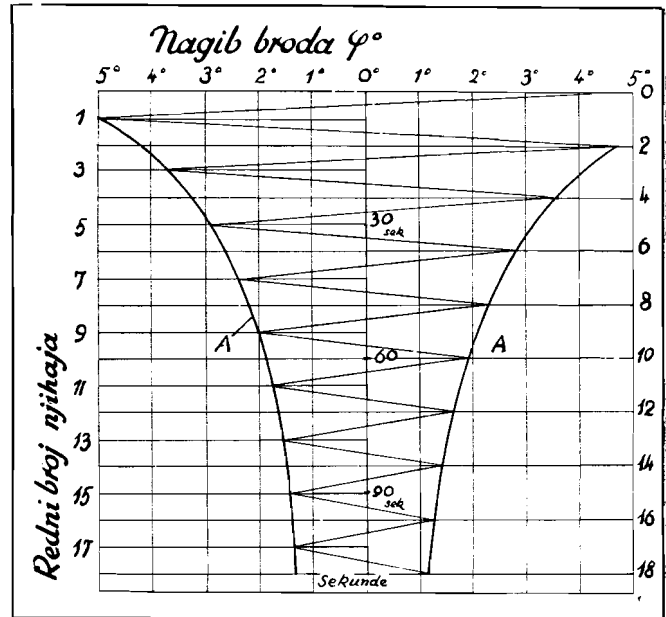
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{Momenat tromosti mase broda (MK}^2\text{)}}{\text{Momenat stabiliteta (M}_{st}\text{)}}} \cdot \sin \varphi$$

Odavle sledi, da će vrijeme potrebno za jedan njihaj broda biti to duže (njihanje to polaganije), što je veći momenat tromosti mase broda, odnosno, što je manji momenat stabiliteta. Kod istog momenta stabiliteta valjat će se dakle polaganije onaj b., koji ima veći momenat tromosti mase s obzirom na simetralu, t. j., koji ima više težine koncentrirane na bokovima (na pr. oklop).

Kako se međutim metacentarska visina s nagibom broda mijenja, to ova teorija nije sasvim točna. B. se zapravo ne njihaju isohrono, već kao njihalo, kojemu se dužina neprekidno mijenja. Za praktične račune dostaje međutim, da se upotrijebi gornja formula uzevši za veličinu \overline{MG} srednju vrijednost od uspravnog položaja pa do najvećeg nagiba.

Sve rečeno vrijedi za njihanje na mirnoj vodi.

Računanje momenta tromosti mase broda vrlo je mučan posao te se obično određuje tek za gotove objekte t. zv. pokusnim njihanjem. U tu se svrhu obično (u ratnoj mornarici) b. zanjije s pomoću ljudstva, koje točno po zapovijedi trči s boka na bok, i kad se brod već dobro zanjihao, ljudstvo se postavlja u sredinu. Zatim se mjeri vrijeme potrebno za njihaje i kutovi njihanja. Momenat tromosti mase broda može se onda kod poznatog momenta stabiliteta izračunati prema gornjoj jednadžbi. Kako se međutim uslijed otpora vode b. u njihanju koči, to se kod pokusa ujedno istražuje veličina toga otpora vode, i to mjerenjem kutova nagiba, koji se sve više smanjuju. Na taj se način može nacrtati krivulja A (sl. 22), koja prikazuje,



Sl. 22.

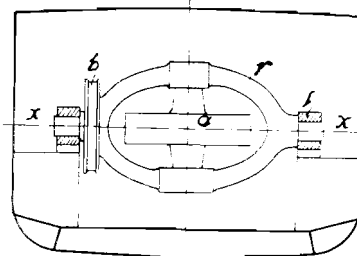
kako se smanjuju kutovi nagiba s proteklim vremenom u sekundama. Ovakve krivulje služe onda za uspoređivanje različitih brodova s obzirom na njihove plovibne sposobnosti.

Kod njihanja uslijed djelovanja valova ne ovisi njihanje broda samo o apsolutnim vrijednostima periode vlastitih njihaja broda i periode valova, već ponajviše o odnosu između tih perioda, a isto tako i o odnosu između dužine i visine vala.

U slučaju, da je perioda valjanja broda manja od periode valova, naginje se b. kod valjanja prema valu, koji nadolazi. Kada je perioda valjanja broda veća od periode valova, nagnut će se b. od vala. Najnezgodniji slučaj nastupa, kada su periode broda i valova jednake, te bi se u tom slučaju kutovi nagiba broda stalno povećavali, kada bi se brod njihao isohrono. Kako se međutim metacentarska visina za veće nagibe mijenja, to se i perioda njihanja broda mijenja te praktički obično ne dolazi do prevrtanja broda.

Sredstva za smanjivanje valjanja broda: 1. perajice (ljuljne kobilice), 2. zvrk i 3. tankovi protiv valjanja.

Perajice su uzdužne ploče, smještene s obje strane broda, obično na uzvoju. One povećavaju kod jakog valjanja postrani otpor vode i tako umiruju njihaje. Kod Schlickova zvrka protiv valjanja (sl. 23) stoji zvrk a u okviru r . Okvir



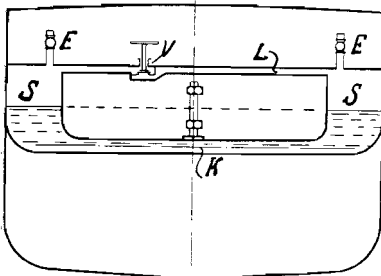
Sl. 23.

se može njihati oko osi $x-x$, a kočnica b omogućuje kočenje njihaja okvira. Uslijed djelovanja zvrka kod valjanja broda njihaju se okvir i djeluje preko ležaja l na b . silama, koje su protivne impulsima valova. Perioda njihanja okvira može se regulirati kočnicom.

Kod aktivnog zvrka od Sperryja konstrukcija

je slična, ali se okvir ne njiše uslijed valjanja broda, već s pomoću naročitog pogona.

Prve tankove protiv valjanja upotrijebio je P. Watts na engl. ratnom brodu *Inflexible*. Kasnije usavršena konstrukcija prema Frahm prikazana je shematski na slici 24. Dva tanka *S* na bokovima spojena su cijevima *K* za prolaz vode i *L* za prolaz zraka. Voda stoji u tankovima od prilike do polovice visine. Kod otvorenog ventila za zrak *V* može voda uslijed valjanja broda prelaziti iz tanka u tank. Kako b. kod valjanja zaostaje za fazom valova za približno 90°, može se dobro odabranim presjecima cijevi te ventilom *V* udesiti, da voda, koja se njiše u tankovima, zaostane za njihanjem broda također za 90°. U tom slučaju djeluju impulzi vode u tankovima protivno impulsima valova na brod.



Sl. 24.

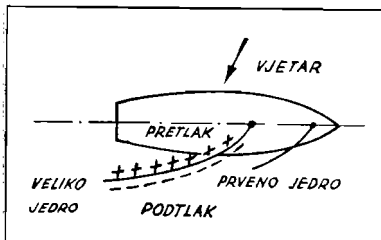
Kod jedne druge konstrukcije prema Frahm nisu tankovi spojeni kao U-posude, već je svaki neovisno spojen na donjem kraju s vanjskom vodom, a na gornjem sa zrakom. Zgodno odabranim presjecima otvora može se postići, da se voda u tankovima diže i spušta protivno impulsima valova. Kod ove konstrukcije tankovi su obično smješteni

izvan bočnih stijena broda tako, da ne nastupa smanjenje stabiliteta uslijed slobodnih površina tekućine u brodu kao kod tankova sl. 24.

Propulzija broda. Za propulziju (pogon) broda služe:

1. sredstva, koja iskorišćuju čvrsti oslonac izvan broda: motke za otiskivanje o plitko dno; vuča s kopna s pomoću ljudi ili stroja, lančani pogon, kod kojeg se na brodsko vitlo namata lanac, koji leži na dnu rijeke i tako vuče b. (lanac se zatim opet na krmu ispušta);
2. sredstva, koja iskorišćuju vjetar: jedra i Flettnerov rotor;
3. sredstva, koja stvaraju poriv s pomoću otpora ploče, koja se giba kroz vodu: vesla, lopatična kola;
4. sredstva, koja stvaraju poriv s pomoću uzgona profiliranog krila kod njegova gibanja kroz medij: vijčani propeleri u vodi i zraku, Voith-Schneiderov propeler.

Jedrenje. Kod strujanja vjetra oko jedra nastaje polje strujnica, koje djeluje na jedro djelomično tlačnim silama, okomitim na plohu jedra, a djelomično silama trenja, tangencijalnim na plohu jedra. Najveći tlak nastaje na onoj strani, gdje struja zraka udara o jedro (sl. 25), dok na protivnoj strani nastaje podtlak, koji je za neke položaje jedra po svojoj apsolutnoj vrijednosti višestruko manji od tlaka na udarnoj površini. Jedino kod jedrenja ispred vjetra, t. j. kad vjetar puše u smjeru vožnje, možemo dakle govoriti o vožnji pod tlakom vjetra na jedro. Kod kosog upadnog kuta vjetra na jedrilicu djeluje u većini slučajeva prvenstveno podtlak na suprotnoj strani jedra. Točni uvjeti strujanja oko jedra za različite upadne kutove vjetra i različite oblike jedra mogu se odrediti jedino pokusima u aerodinamičkim pokusnim stanicama.



Sl. 25.

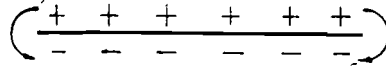
Od glavnog su utjecaja za iskoristivost plohe jedara:

1. omjer visine i širine plohe jedra;
2. zaobljenost plohe jedra;
3. oblik jedra.

Omjer visine i širine plohe jedara. Ispitivanja s različitim omjerima površina pokazala su, da je kod krstarenja, i to za upadne kutove vjetra od približno IV do VI crta (XVI crta = 180°), najpovoljnije usko jedro, s omjerom »visina : širini« većim od 1. (Povećanje tog omjera na više od 3 : 1 do 4 : 1 ne daje dalje nikakove prednosti). Od približno VI crte dalje povoljnije je kvadratično jedro (sošno ili uzdužno jedro), dok je kod vjetra u krmu najpovoljnije križno jedro s malim omjerom »visine : širini«.

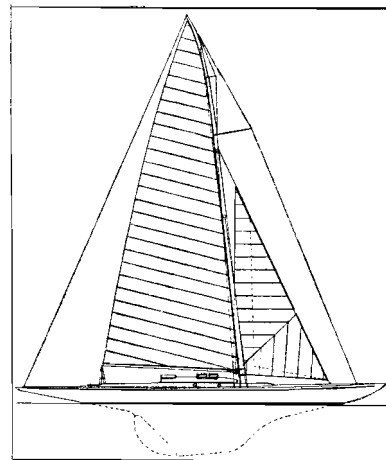
Zaobljenost plohe jedara utječe povoljno na iskoristivost te mora biti što veća (najpovoljnije oko 1/7 do 1/8 širine), kod čega je svejedno, u kojoj je udaljenosti od ruba zaobljenost najveća.

Oblik jedara zajedno s omjerom »visine : širini« od najvećeg je utjecaja na optor. Na osnovi teorije krila prof. Prandla sastoji se ukupni otpor plohe ili profila konačne dužine od t. zv. *induciranog otpora* i *otpora profila*. Otpor profila ovisi o obliku presjeka samog profila, dok inducirani otpor nastaje uslijed toga, što je kod konačne širine plohe moguće strujanje oko rubova plohe i izjednačavanje pretlaka i podtlaka s obih strana plohe (sl. 26). Tim strujanjem nastaju virovi, koji povećavaju otpor.



Sl. 26.

Iz toga je razloga kod vjetra koso sprijeda povoljnije usko visoko jedro, jer mu je inducirani otpor najmanji. Kod vjetra u krmu naprotiv stvaranje je tih virova poželjno, jer se na taj način povećava sila vjetra na plohu jedra. Zato su kod tog vjetra povoljnija široka jedra s velikim induciranim otporom.



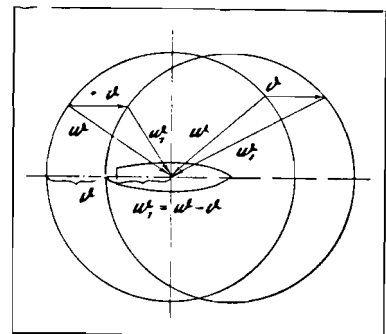
Sl. 27.

Ispitivanja su nadalje pokazala, da plohe eliptičkog oblika imaju najmanji inducirani otpor. Prema tome je visoko trokutasto jedro nepovoljnije od onog, gdje je jarbol na gornjem dijelu zakrivljen i tako stvaraju približno eliptički oblik jedra (sl. 27).

Brzina i smjer vjetra kod jedrenja relativne su veličine i ovisne o brzini i smjeru jedrilice. Za tlak vjetra na plohu jedara mjerodavna je dakle *relativna ili prividna brzina vjetra*. Kod vožnje pred vjetrom (vjetar u krmu) rela-

tivna brzina vjetra (w_1) jednaka je razlici brzina vjetra (w) i broda (v) (sl. 28). Kod jedrenja s kosim upadnim kutom vjetra određuje se relativni smjer vjetra s pomoću trokuta brzina.

Ovako određeni relativni vjetar djeluje u težištu pritiska, koje leži u rezultanti svih sila vjetra, koje djeluju na sva jedra, jarbole, užeta i brodski trup. Ovoj sili vjetra djeluje protivno otpor vode, kojemu nije moguće teoretski odrediti hvatište, ali se približno uzima težište projekcije podvodnog trupa broda ili t. zv. *lateralno težište*.

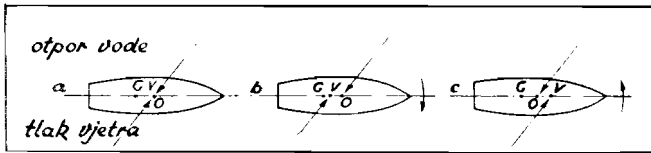


Sl. 28.

Kod jedrenja morale bi sila vjetra i sila otpora vode ležati u istoj vertikalnoj ravni (sl. 29a). Leži li sila vjetra iza sile otpora vode (sl. 29b), nastaje par sila, koji b. okreće k vjetru. Leži li sila vjetra ispred sile otpora vode (sl. 29c), b. se okreće od vjetra, što je mnogo nepovoljnije. U oba zadnja slučaja b.

se mora ispravljati kormilom, što mu smanjuje brzinu.

Uslijed postrane sile vjetra plovi b. pod t. zv. kutom zanosa. Oko brodskog tijela u vodi nastaje također polje strujanja slično kao i oko jedra, samo je teoretsko i praktičko istraživanje ovog strujnog polja vrlo otežano time, što brod plovi na granici dvaju medija — vode i zraka, a osim toga pridolazi i djelovanje valova te različni nagibi broda kod različitih vjetrova. Uslijed svih tih uvjeta nije moguće provesti potpuno ravnotežu sile vjetra i otpora



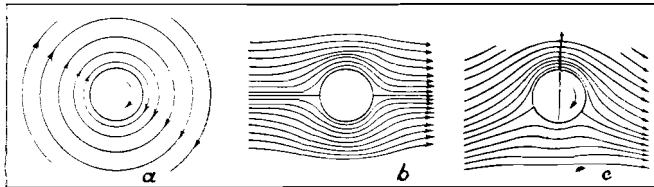
Sl. 29.

G = hvatište sistema; O = hvatište sile otpora vode; V = hvatište sile vjetra (relativnog)

vode, te gotovo uvijek preostaje stanoviti momenat, koji treba ispravljati kormilom.

Budući da se kod vožnje hvatište otpora vode pomiče obično prema pramcu, to je (prema Middendorfu) potrebno položiti težište plohe jedara *ispred* lateralnog težišta za veličinu: a) kod brodova s križnim jedrima: 0,055 do 0,08 L (sred. 0,0675 L), b) kod sošnih škuna: 0,011 do 0,067 L (srednje 0,039 L).

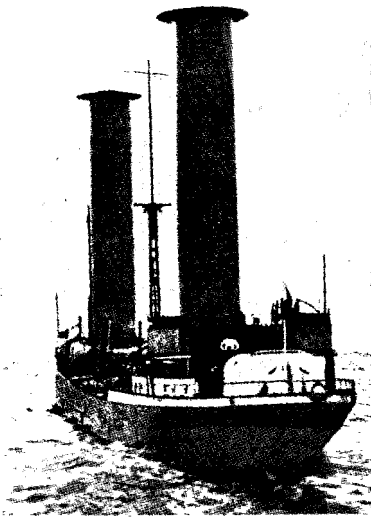
Flettnerov rotor. Rotira li valjak (sl. 30) u mirnom zraku, nastaje oko njega kružna struja zraka (sl. 30a). Položi li se mirni valjak u struju zraka, to će zrak oko njega strujati prema slici b. Ako međutim taj valjak *u struji zraka rotira*, zbrajaju se strujanja sl. 30a i b, te na onoj strani valjka,



Sl. 30.

gdje su oba strujanja *protivnog* smjera, nastaje viši tlak nego na protivnoj. Iz toga rezultira sila na valjak u smjeru strelice (sl. 30c). Ovu pojavu, t. zv. **Magnusov efekt** (vidljiva je i kod t. zv. »reznanih« lopti kod tenisa), iskoristio je Flettner i konstruirao jedrilicu (sl. 31). Dva velika valjka rotiraju polagano, tjerana slabim motorima. Kod strujanja

vjetra oko valjaka iskorišćuje se sila, koja rezultira, za pogon broda. Dosta je, da valjci imaju 80% do 100% površine običnog jedra, da bi se postigla ista brzina. Prednost je osim toga i dobra pokretljivost broda, jer je kod suprotnog smjera okretanja obih valjaka moguće b. na mjestu okretati. Isto je tako moguće jedriti natraške, kad se promijeni smjer vrtnje valjaka.

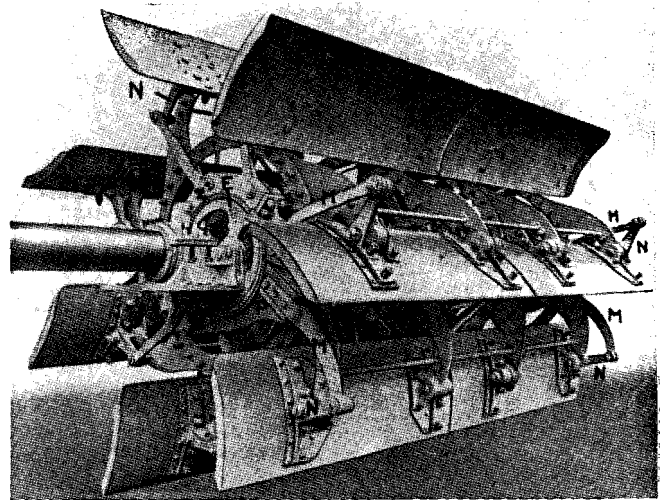


Sl. 31. FLETTNEROV ROTOR-BROD

Brodovi sa strojnim pogonom tjeraju se ponajviše vijčanim propelerima i lopatičnim kolima, a u novije vrijeme donekle i Voith-Schneiderovim propelerom. — Kod svih ovih propelera ubrzava se stanovita masa vode prema straga, uslijed čega nastaje, kao reakcija, sila u smjeru vožnje, t. zv. **poriv propelera**.

Kod svake od tih vrsti propulzije gubi se stanovita množina energije uslijed toga, što voda na izlazu iz propelera ima još stanovitu izlaznu brzinu (v_2). Propeler ubrzava masu vode (M) od brzine pritjecanja na izlaznu brzinu.

Izlazna energija $\frac{M v_2^2}{2}$ predstavlja gubitak, koji, kako vidimo, raste proporcionalno s kvadratom izlazne brzine. Najbolju iskoristivost ima dakle onaj propeler, koji ubrzava što veću masu vode na što manju izlaznu brzinu. Uglavnom se taj uvjet može postići kod što veće površine

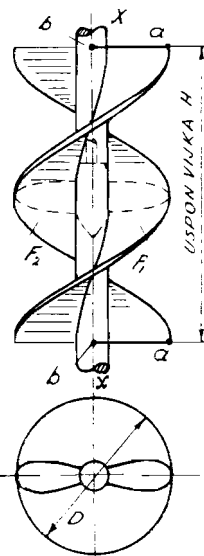


Sl. 32. LOPATIČNO KOLO

djelovanja. Tako kod ribe na pr. zahvata repna peraja u gibanju površinu, koja je mnogo veća od površine presjeka ribe. Kod brodova je obično površina vijka tek $\frac{1}{4}$ do $\frac{1}{6}$ površine presjeka glavnog rebra. Osim ovog gubitka, koji je mjerodavan za maksimalnu teoretsku iskoristivost propelera, nastaju kod svake vrste propelera drugi gubici, koji su ovisni o vrsti propelera i njegovu smještaju na brodu.

Lopatično kolo služi uglavnom za propulziju riječnih brodova, gdje uslijed plitkih voda i malog gaza broda vijak ne može imati promjer dovoljno velik za dobru iskoristivost. Izvedbu takvog kola vidimo na sl. 32, koja prikazuje dvostruko lopatično kolo velikog riječnog tegla.

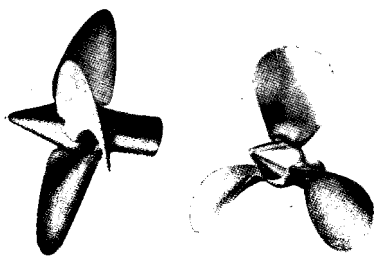
Lopate su iz željeznog lima, rjeđe drvene. Budući da je potrebno, da lopate ulaze i izlaze iz vode bez velikih udaraca te da kod prolaza kroz vodu stoje što okomitije na smjer gibanja, to se one izvode gotovo uvijek **pokretljive**. Nosač lopate N spojen je ekscentarskim motkama M s ekscentrom E. Jedna ekscentarska motka spojena je čvrsto s prstenom ekscentra P, dok su ostale slobodno gibljive u zglobovima Z. Snaga stroja prenaša se preko osovine na ležaje nosača lopata. Čvrsta ekscentarska motka okreće ekscentarski prsten te se na taj način upravljaju



Sl. 33.

ostale ekscentarske motke i udešava položaj lopata kod prolaza kroz vodu. Razdioba zglobova, ekscentricitet i veličina ekscentra, dužina ekscentarskih motki i nosača lopata te konačno oblik lopata biraju se tako, da lopate ulaze u vodu i izlaze iz nje bez većih udaraca. Kada bi lopate kola bile čvrste, trebalo bi kolo biti barem dva puta veće od kola s pokretnim lopatama, jer bi inače lopate udarale pljoštimice u vodu, a kod izlaza bacale vodu prema gore. Lopatično je kolo glomazno i teško, te će po svojoj prilici ubrzo nestati na onim rijekama, gdje se regulacijom postignu i veće dubine, tako da će i vijčani propeleri biti dovoljno ekonomični. Kada je potrebna manja širina broda, može se kolo smjestiti i straga na krmu.

Vijčani propeler. Brodski vijak ima dva, tri ili četiri krila, koja su dio vijčane površine. U sl. 33 prikazane su dvije jednake vijčane površine (F_1 i F_2), a onaj dio, koji pripada vijku, označen je crtkano. Vijčana površina nastaje, kada se pravac $b-a$ okreće jednako oko osi $x-x$ i istovremeno pomiče uzduž osi. Put, koji prevale pravac $a-b$ kod jednog okretaja, zove se **uspon vijka** (H). Promjer vijka (D) je promjer kruga, koji je opisan oko krila. Odnos H/D glavna



Sl. 34. BRODSKI TROKRILNI VIJAK

je karakteristika za iskoristivost vijčanog pogona, te je praktički dokazano, da je iskoristivost vijka najveća kod odnosa $H/D=1,5$ do $1,2$. Kod manje vrijednosti H/D pada iskoristivost.

U sl. 34. prikazan je trokrilni brodski vijak tipa »Zeise«

s pokretljivim krilima tako, da je moguće iz strojarnice mijenjati uspon vijka.

Djelovanje vijka. Kada bi se vijak okretao u čvrstom tijelu, pomaknuo bi se kod svakog okretaja za veličinu uspona H . Vijak bi se dakle pomicao u tijelu brzinom

$$C = \frac{Hn}{60} \text{ m/sek, ako je } n = \text{ broj okretaja na minutu. Kako}$$

voda međutim popušta, to je brzina vijka (a prema tome i broda) u vodi manja od C . Ako brzinu broda označimo

$$\text{sa } v, \text{ onda se odnos } \frac{C-v}{C} 100\% \text{ zove prividni skliz (slip)}$$

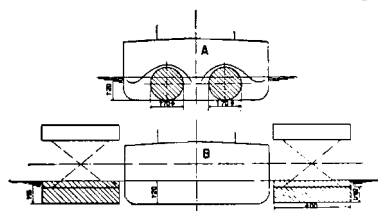
vijka. Skliz prikazuje razliku između teoretske brzine vijka C i stvarne brzine v . Radi toga, što se brzina struje vode oko broda mijenja i što ovisi o obliku korita (vidi *sustrujanje*), ne priteče voda vijku brzinom v , već je *brzina pritjecanja vode* ovisna o sustrujanju. Brzina pritjecanja bit će $v_e = v(1 - \psi)$ (ψ = faktor sustrujanja), a prema

$$\text{tome bit će pravi ili stvarni skliz } S = \frac{C - v_e}{C} 100\%.$$

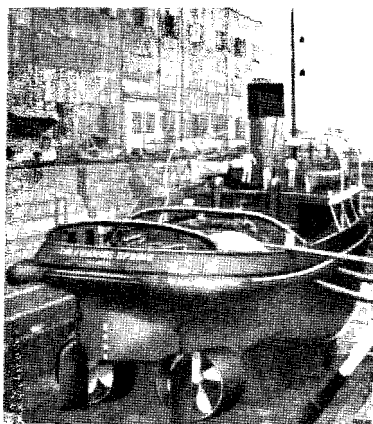
Kod određivanja osnovnih karakteristika vijka za novi b. služe uglavnom rezultati ispitivanja brodskih vijaka

provedenih u stanicama za ispitivanje. Kod tih se ispitivanja modeli vijaka tegle kroz vodu i okreću posebnim pogonom te onda mjeri poriv vijka kod različnih brzina i brojeva okretaja te određuje skliz i iskoristivost. Kada treba odrediti najpovoljniji vijak za jedan određeni brodski oblik, potrebno je takva ispitivanja provesti s modelom, koji je tjeran vlastitim vijčanim pogonom. Samo se tako mogu ustanoviti međusobna djelovanja broskog oblika i vijka, t. j. odrediti utjecaji *sustrujanja* i *omaje* (\rightarrow Otpor virova).

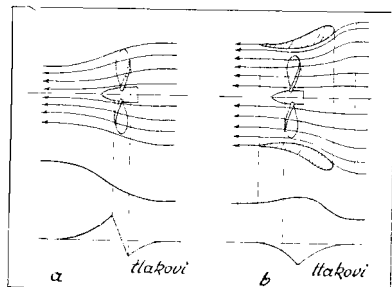
Premda bi teoretski bio najpovoljniji vijak što većeg promjera, koji bi ubrzavao masu vode na što manju izlaznu brzinu, ograničen je promjer vijka *gazom broda*. Osobito to biva kod riječnih brodova, gdje je baš iz tog razloga često nemoguće odabrati vijak dovoljno velikog promjera, te je povoljnije uzeti lopatično kolo (sl. 35.). Često se vijak u takvim slučajevima postavlja tako, da mu jedan dio krila stoji iznad površine plovne vodene linije. Da vijak ipak radi čitav u vodi, postavlja se u naročiti kanal u



Sl. 35. UPOREDBA PLOHE VIJAKA I LOPATICNOG KOLA



Sl. 36. KORTOVA SAPNICA



Sl. 37.



Sl. 38. VOITH-SCHNEIDEROV PROPELER

koritu broda, t. zv. *tunel*. Radi rada vijka tunel se napuni vodom, te vijak radi čitav u vodi i s dobrom iskoristivošću.

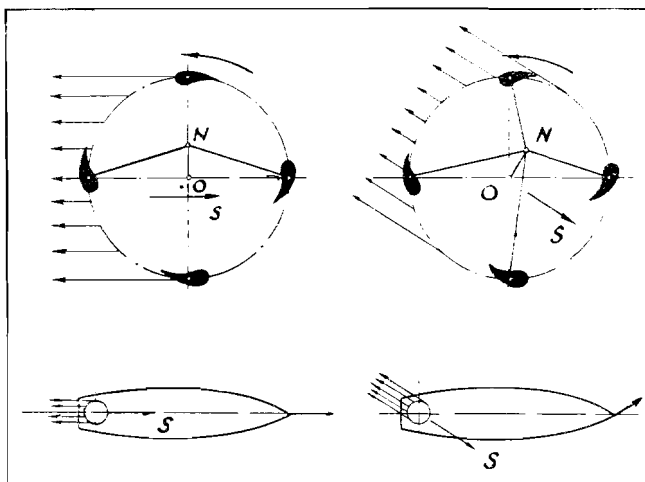
Kod tegla (remorkera) u novije se vrijeme mnogo upotrebljava Kortova sapnica (Kortdüse) za poboljšanje iskoristivosti vijka (sl. 36). Kortova je sapnica naročito profilirani prsten oko vijka (sl. 37b).

Vijak bez plašta (sl. 37a) ubrzava masu vode na veću izlaznu brzinu od vijka u Kortovoj sapnici, jer se izlazni mlaz vode kod slobodnog vijka suzuje (kontrahira). Iz toga (prema osnovnom načelu o iskoristivosti vijka) slijedi bolja iskoristivost vijka u sapnici. Osim toga daje struja vode profiliranoj sapnici posebni uzgon — silu u smjeru vožnje, koja djeluje kao dodatni poriv, a prenaša se na b. preko učvršćenja sapnice na korito.

Povoljno djelovanje Kortove sapnice najbolje je iskorišćeno kod vijaka s velikim sklizom, dakle kod jako opterećenih vijaka, kao što su vijci remorkera, jer je u tom slučaju kontrakcija mlaza iza slobodnog vijka najveća.

Voith-Schneiderov propeler zauzima posebno mjesto u novijim načinima propulzije. G. 1926 počela je tvornica J. M. Voith u praksi primjenjivati izum Bečanina E. Schneidera. Novi pogon sastoji iz perajica (sl. 38), koje su naročito profila te rade, baš kao i krila vijka, na načelu uzgona profila kod gibanja kroz vodu. Upravo radi toga iskoristivost je ovog pogona jednaka iskoristivosti vijka. Perajice stoje približno vertikalno u vodi, a smještene su tako, da ploča, na kojoj su učvršćene, čini s oplatom broda neprekinutu površinu. U vodi su na taj način samo oni dijelovi pogona, koji stvaraju poriv, te nema u vodi osovine, skrokova ni glavine kao kod vijka; a ovi dijelovi samo povećavaju otpor. Perajice se zajedno s pločom vrte oko centra O (sl. 39), a njihov se nagib upravlja u različitim položajima vrtnje polugama, koje prolaze kroz ekscentričnu točku N . Pomakom te točke udešava se nagib perajica tako, da je moguća vožnja naprijed, natrag i na stranu bez upotrebe posebnog kormila i bez mijenjanja smjera okretaja stroja.

D. S-ć.



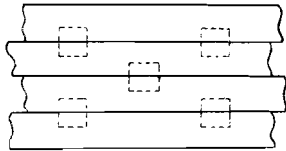
Sl. 39.

II. Gradnja i tipovi brodova.

1. Drveni brod. Tri su čimbenika odlučivala o načinu gradnje i o obliku b-a: prilike vodenog puta, raspoloživi materijal za gradnju i svrha b-a. To nam pokazuje razvitak brodogradnje svih vremena i svih krajeva svijeta.

Prijeći ćemo preko najprimitivnijih konstrukcija, koje su kroz desetke hiljada godina pa sve do danas ostale jednake. Prvi tip složene konstrukcije predstavlja nam izdubeno stablo, na kojem su uzduž oba boka bile nasađene debele daske, kako bi se povećala visina oplate, a time i sigurnost. Iz ovoga tipa razvile su se konstrukcije složene iz više dasaka — trenica.

Brojni spomenici iz Egipta, sve do 34. stoljeća prije Kr., daju nam obilje podataka nesamo o obliku, već i o načinu gradnje b-a. Materijal je bio uglavnom drvo akacije i sikomore, a pojedine trenice bile su vrlo kratke.



Sl. 1.

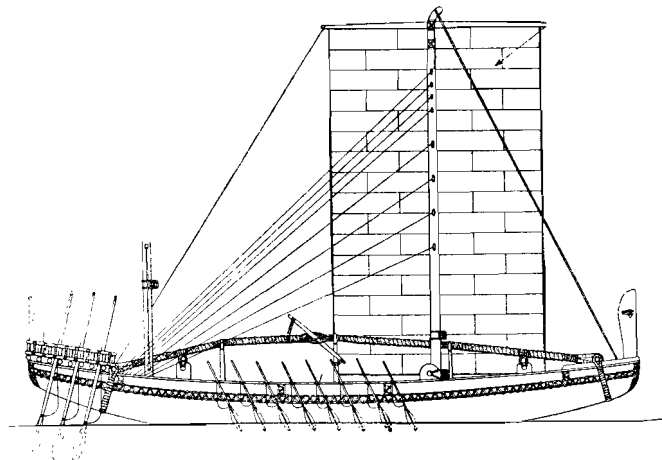
U bridovima trenica udubli su četverokutaste rupe, u rupe uložili moždanike i nabijali jednu trenicu na drugu (sl. 1). Trenice su bile vrlo debele, b. nije imao ni kobilice ni rebra, nije bio pokriven, jedino su obje strane b-a po vrhu bile spojene gredama — sponjama. B. je po duljini imao oblik luka, kojemu su se krajevi — pramac i krma — znatno uzdizali nad vodu, te je samo srednji dio (od pr. $\frac{2}{3}$ duljine) bio u vodi. Da pramac i krma budu bar nekako poduprti, bilo je sredinom b-a preko 3 upore napeto uža, privezano na pramac i krmu.



Sl. 2. GRAĐENJE BRODOVA U EGIPTU

I oko čitavog b-a, ispod gornjeg ruba, bilo je vezano uža, jer b. radi kratkih trenica nije bio dovoljno čvrst (sl. 3).

Na krmu je bila niska ograda radi kormilara. Kormilarilo se veslanjem s 2—5 vesala na svakoj strani. Jarbol je bio na dva kraka (radi užeta u sredini), jedro četverokutasto na križu jarbola.



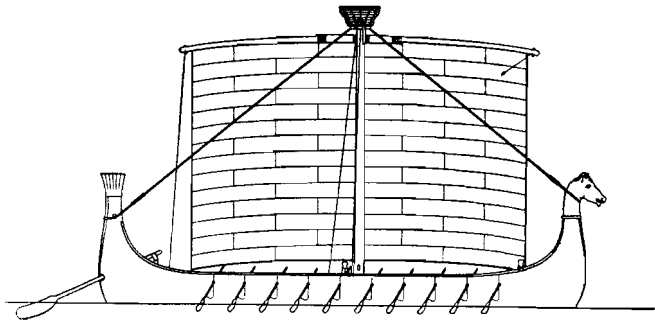
Sl. 3. EGIPATSKI BROD, 35.—30. st. prije Kr.

Drži se, da su b-i bili 30 do najviše 40 m dugi, oko 7 m široki, a gazili su oko 1,2 m, te su prema tome imali od pr. 90 tona.

2000 godina kasnije pokazuju egipatski brodovi vrlo male razlike. Dimenzije su gotovo iste. Kao građa dolazi više cedrovo drvo — trenice su dulje.

Broj veslača je veći. Na krmu ima samo po jedno kormilo na svakoj strani u obliku vesla, no kormilarilo se *okretanjem* toga kormila.

Fenički brod je izraziti trgovački i morski b. Oblik mu je ravan, te b. leži čitavom duljinom u vodi. B. je visok, ima krov i visoku ogradu, pramac i krma svršavaju okomitom gredom — statvom. Iz toga se zaključuje, da je imao

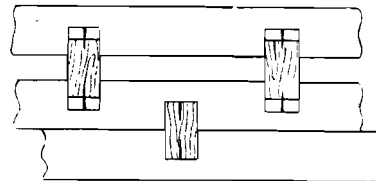


Sl. 4. FENIČKI BROD

i kobilicu. Nije poznato, jesu li postojala rebra, ali je vjerojatno, da jesu s obzirom na visinu broda. B. ima na svakoj strani po jedno kormilo, koje se okreće. Ima niski jarbol s križem za jedro, a na vrhu jarbola koš za izvidnika. Duljina b-a cijeni se na 30 m, širina na 8—10 m, gaz na 2 m, a težina na 200 tona (sl. 4). Jarbol nije imao pripona o bokove b-a, pa je jedro moglo služiti samo kod vjetra u krmu.

Atička trijera. To je opet izraziti tip ratnog b-a, određenog da plovi prvenstveno uz obalu. Iz opisa, pa osobito prema dimenzijama magazina, u kojima su se spremale trijere, zaključuje se, da su imale ove dimenzije: duljina oko 38 m, širina 5,8 m, gaz 1 m, istisnina (déplacement) oko 90 tona. Sudeći po ovim dimenzijama zaključujemo, da su trijere morale krcati veću količinu balasta.

Struktura b-a naliči na egipatski b., spajanje trenica ostalo je (po Herodotu) kroz 3000 godina gotovo nepromijenjeno (sl. 5).



Sl. 5.

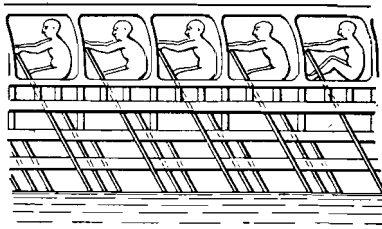
U trenice su bušili okrugle rupe, u koje su ulagali čepove od tvrdog drveta. U tim čepovima bili su gore i dolje učinjeni procjepi, u koje se uložio drveni klin. Kod nabijanja jedne trenice na drugu prodrli su klinovi u čepove, raširili ih i time učvrstili u rupama. Rebara nije bilo, ali je radi znatne širine trijere vjerojatno, da su postojale rebrenice na dnu b-a.

Kao i kod egipatskog b-a bilo je za pojačanje konstrukcije u uzdužnom smjeru napeto uža (*εποζώνη*) od prama do krmu preko krova.

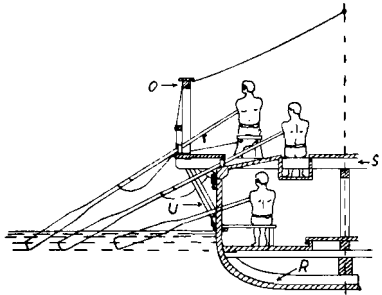
Pramac je pojačan i nosi dva kljuna-bodeža: dulji (embol, *ἔμβολον*) ispod razine vode i kraći (proembol, *προέμβολον*) iznad vode.

Oba su kljuna na vrhu okovana, embol obično trozubom, da udarcem učini što veću rupu na neprijateljskom brodu ispod vode. Za proembol se drži, da mu je bila svrha pokidati vesla neprijatelju, no vrlo je vjerojatno, da mu je bila svrha, da spriječi preduboko zadiranje embola kod sudara, kako bi se onda lakše iskvaćio.

Trijera je imala krov i krovne sponje, koje su stršile izvan b-a tvoreći nosače za uski hodnik između ograde i najvišeg veslača. Radi zaštite veslača bila je uz ogradu pričvršćena zaštita od debele tkanine. Veslači su bili raspoređani u tri reda: najviši *traniti* (*θρανῖται*) na visokim klupicama, na sponjama sjedeći *zevgiti* (*ζεγγῖται*), a u potkrovlju *talamiti* (*θαλαμῖται*), većinom robovi. U uzdužnom smjeru bila su ta tri reda veslača također razmaknuta radi nesmetanog veslanja, kako to pokazuje reprodukcija jednog reljefa s Akropole (sl. 6 i 7).

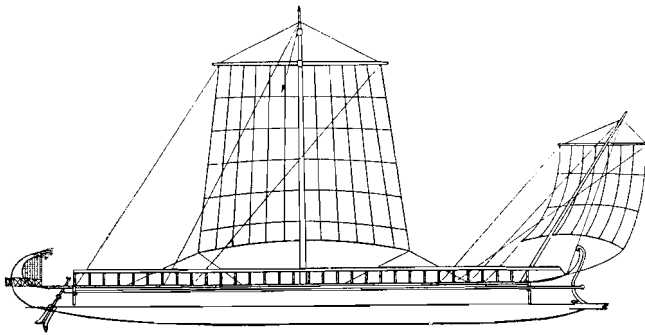


Sl. 6. VESLACI NA TRIJERI
(Prema reljefu s Akropole)



Sl. 7. RASPORED VESLACA NA TRIJERI

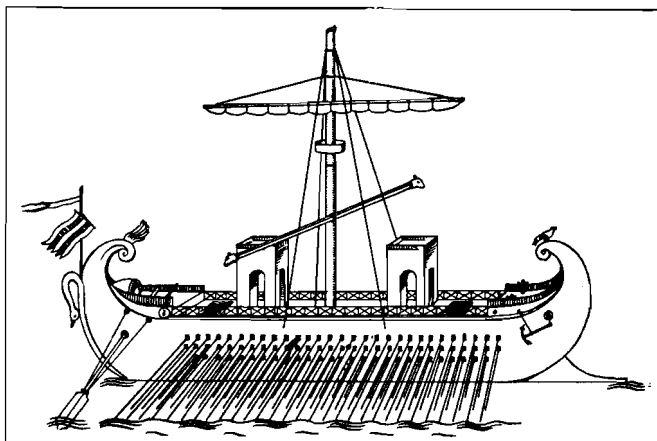
koja je promijenjena u toliko, da su joj dimenzije veće, bokovi znatno viši i gaz veći, da budu sposobniji za plovidbu. Prema ostacima nekih spremišta za b. u Siciliji sudi se, da su ti brodovi bili oko 6,7 m široki, što bi zna-



Sl. 8. ATICKA TRIJERA

čilo, da im je sadržaj bio oko 60% veći nego kod grčkih trijera. Rimljani su uglavnom kopirali Feničane i dodali neke ratne sprave, kao corvus — spojni most, aser — motku za oštećivanje jedrila.

Poseban je tip bila *liburna*. Pobljih podataka nema osim crteža na medaljama i slikama. Bio je to manji brod visoke građe, prikladan za otvoreno more. Kod liburna nalazimo *trouglasto jedro* (t. zv. latinsko). Na nekim slikama prika-



Sl. 9. LIBURNA (ratna)

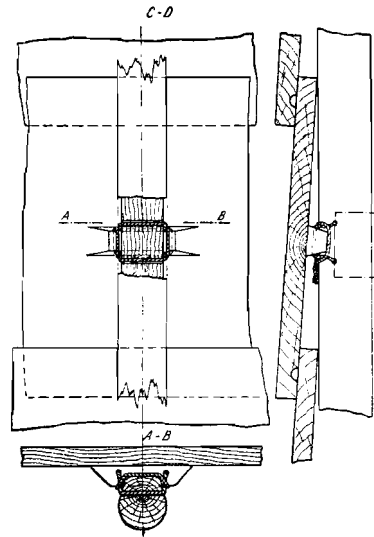
Trijera je imala dva jarbola, prednji je bio manji i naprijed nagnut. Jarboli su imali križeve i četverokutna jedra. I ovi jarboli imaju pripone samo prema krmu, pa je upotreba jedara bila ograničena na vjetar u krmu (sl. 8).

Veslima, kojih je bilo oko 170, mogla se postići brzina od 4 milje na sat, a uz povoljan vjetar do 6 milja. Trgovački grčki b. razvili su se iz tipa feničkoga b-a i imali su sve njihove karakteristike.

Kartaško i rimsko brodovlje. Kartažani kao kolonisti Feničana preuzeli su tip feničkog b-a u trgovačke svrhe, dok se njihovi ratni brodovi oslanjaju na konstrukciju trijere,

zani su na liburnama visoki tornjevi za vojničke svrhe (sl. 9).

Prema nekim piscima bilo je u ono vrijeme i b. s više od 3 reda vesala. Spominju se pentere, pa i b. do 20 redova vesala. Realnih dokaza za to nema. Kad se zna, ko-

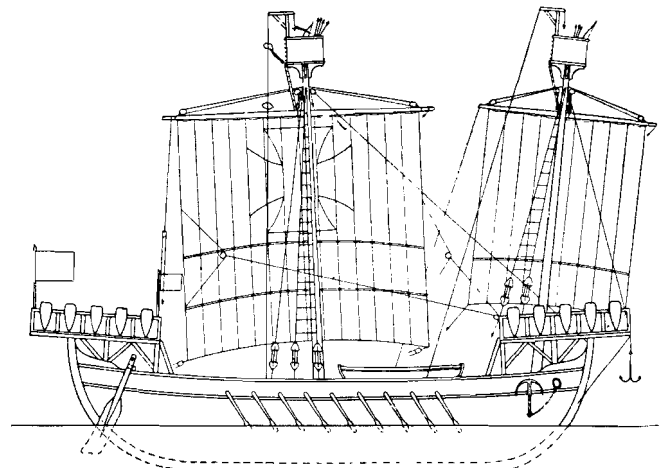


Sl. 10. VIKINSKI BROD. Spoj oplate s rebrima

liko je poteškoća stručnjacima činila rekonstrukcija b. s 3 reda vesala, razumjet će se, da je opravdana sumnja, je li uopće bilo b. s više od 3 reda vesala.

Brodovi Bizanta. Ratni b. Bizanta — *drōmona* — proizašao je iz tipova grčkih b., poglavito iz trijere. Dimenzije su mu manje nego kod trijere. Veslača po 25 na svakoj strani, jedan jarbol sa četverouglastim jedrom, koje u početku kršćanskog doba zamjenjuju trouglastim.

Vikiški brod (9. do 11. st. pos. Kr.). Krajem 19. st. iskopana su na obalama Šjev. mora 3 b., koji potječu iz 4.—9. st. B. su razmjerno dobro sačuvani, pa imamo dosta točnih i zanimljivih podataka. B. je od hrastovine. Kobilica je načinjena od grede visoke 35 cm, koja strši preko 25 cm ispod dna b. Jaka rebra stoje u razmaku od 1 m, s kobilicom nisu bila spojena. Trenice su od hrastovine debele 2½ cm, široke 24 cm, a sastavljene na preklop. Na mjestu preklopa imale su trenice utor, u koji se umetnulo uže za brtvljenje. Međusobno su trenice bile spojene željeznim zakovicama. Kod svakog rebra imala je trenica istesani izdanak s 2 rupe, a rebro također 2 rupe, pa su trenice vrbovim šibama bile vezane uz rebra (sl. 10). Krov b-a počivao je na sponjama od 10×18 cm, a sponje su bile raštenim koljenima spojene s rebrima.



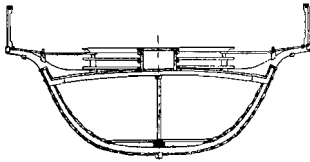
Sl. 11. NORMANSKI BROD

i prema bokovima b-a, pa vrlo izbočena kobilica, svjedoče, da su Vikingi poznavali krstarenje kod vjetra u bok.

Normanski brod (12.—13. st., sl. 11) ne razlikuje se po strukturi mnogo od vikiškoga. On je veći, razmjerno mnogo širi i dublji. Rebra su mu čvrsto spojena s kobilicom. Veslača ima manje, jedra su glavno pogonsko sredstvo. Jarbol isprva jedan, kasnije dva, prednji nešto nagnut prema naprijed. Karakteristične su velike platforme na

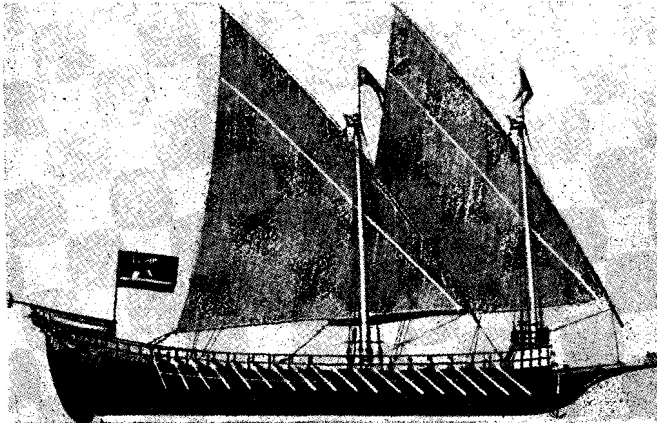
pramcu i krmu u vojničke svrhe te košare na jarbolima za izviđače.

Sredozemna galijs (13.—18. st., sl. 12 i 13) razvila se od antičke trijere. To nam pokazuje nesamo velika sličnost vanjštine, već i čitava struktura. I sam presjek uglavnom



Sl. 12. PRESJEK STARIJE RATNE GALERE

sliči presjeku trijere, premda spojevi elemenata odgovaraju tadanjem progresu. Tako su na pr. rebra spojena s kobilicom, u sredini b-a je na rebrima jaka greda »pasmu«. Kod mnogih ima na rebrima i s nutarnje strane oplata, t. zv. priboj. Sponje su velikim koljenima nad krovom spojene s rebrima; ta koljena strše izvan b-a te nose hodnik i ogradu, slično kao kod trijere. Na krovu su klupe za veslače; kod starijih galijs bio je po jedan veslač, kod novijih po tri veslača na svakom veslu. Kormilo je u osi b-a, na stražnjoj statvi. Galijs ima 1—3 jarbola s latinskim jedrom.



Sl. 13. SREDOZEMNA GALIJA

Na pramcu je povišena platforma za topništvo: isprva za bacaće strojeve, kasnije za topove (obično 5 komada).

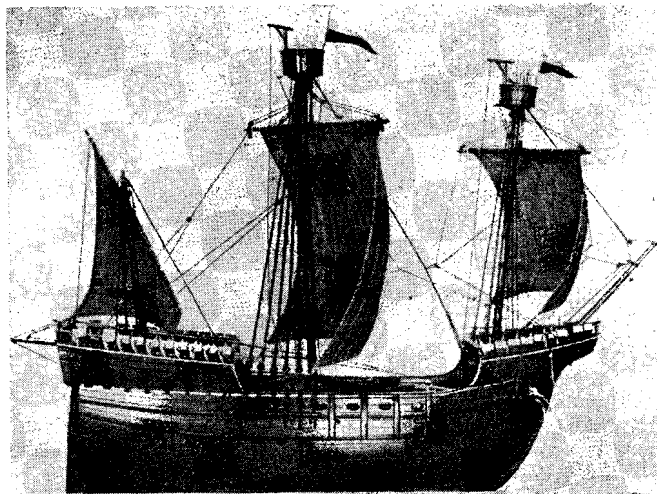
Stariji tipovi bili su oko 40 m dugi, noviji do 60 m.

Brodovi Hanse (Kogge, 14.—16. st., sl. 14) bili su trgovački b., građeni po uzoru normanskih b. Stariji su tipovi od 100 tona, kasnije do 500 tona. Struktura b-a pokazuje sve elemente dotjerane drvene konstrukcije.

Od normanskog tipa preuzete platforme na pramcu i krmu pretvorile su se u čvrsta, s brodom srasla nadgrađa, u kojima su se nalazile prostorije za stanovanje.

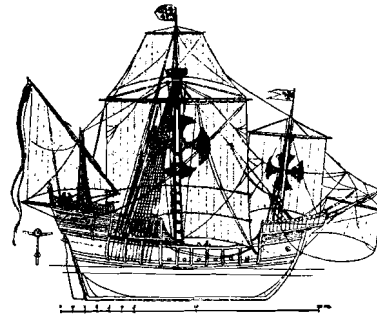
Pojedini b. Hanse bili su uređeni za borbu i mnogo većih dimenzija (t. zv. Orlogskogge).

Brodovi oko 16.—19. stoljeća. Prema tipu hanseatskih b. grade Genovežani b. oštrijih forma, kako bi se postigla veća brzina. Uz to se dakako usavršava jedrilo. Ti su se



Sl. 14. HANSEATSKI BROD

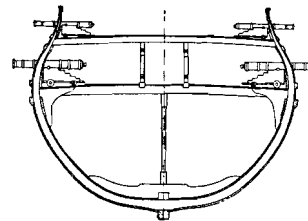
tipovi zvali *galeoni*. — U Španjolskoj i Portugalu grade se u to vrijeme po uzoru galeona t. zv. *karavele*. Kolumbov najveći b. *Santa Maria* ide u red karavela (sl. 15).



Sl. 15. KOLUMBOVA KARAVELA »SANTA MARIA« (oko 1450 pos. Kr.)

Krmeno nadgrađe produljeno je kod ovih tipova gotovo do polovice b-a. Radi pojačanja konstrukcije bile su kod mnogih b. izvana nad vodom pribijene okomite i vodoravne grede. Kod karavela nalazimo još i vesla kao pomoćno sredstvo (vidi 6 rupa za vesla na brodu *S. Maria*).

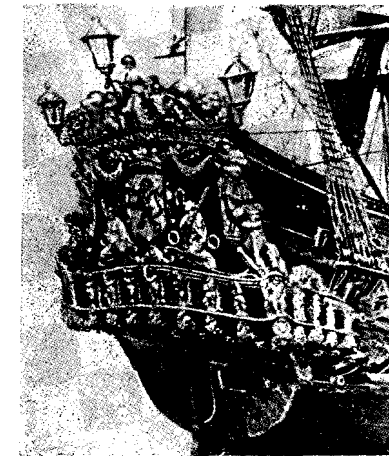
Postepeno povećavanje dimenzija, onda sve veća upotreba topova, naročito izum bočnih zaklopaca za topove (Descharges oko g. 1500) dovelo je do gradnje b. s 2 i više krovova. Topovi donjega krova imali su lafete na kotačima, pa su se za vrijeme navigacije mogli uvući i zaklopcima bočne stijene dobro zatvoriti.



Sl. 16. PRESJEK BRODA S DVIJE PALUBE IZ KRAJA 17. ST.

Slika 16 pokazuje presjek drvenog b-a s 2 krova krajem 17. st. Tu vidimo glavne konstrukcijske elemente, a vidimo, da je u donjem prostoru na nutarnjoj strani rebara provedeno potpuno opločenje drvenim trenicama (prvi put provedeno g. 1660 na francuskom brodu *La Couronne*).

U vanjskom obliku opaža se sve više proširenje kreme, što je povoljno za sigurnost proti valovima, koji dolaze straga. Krme nad vodom svršavaju u širokim ravnim plohamama, a redovno su bogato ukrašene ornamentima (sl. 17).

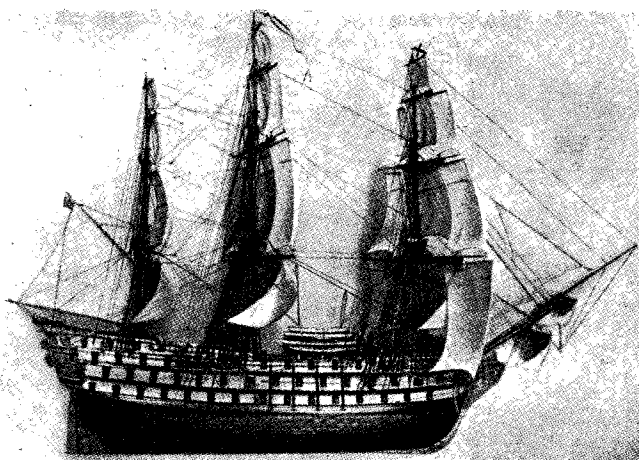


Sl. 17. KRMA HOLANDESKOG BRODA G. 1664
Amsterdam, Pomorski muzej
(G. La Roërie-J. Vivielle, *Navires et mar.*)

Borba za prevlast na moru dovodi do natjecanja u veličini i naoružanju brodova. Grade se b. s 3 i više krovova, dimenzije rastu blizu 70 m duljine. U gradnji b. vlada sve do ovoga razdoblja čista empirija, a sada tek počinje znanost da zahvata i tako sprečava skupo plaćene pokušaje. Prva znanstvena djela potječu iz g. 1600, a g. 1665 prvi put je otkrivena tajna, kako će se izračunati istisnina (déplacement) b-a.

Kojih 30 godina prije toga gradili su Englezi prvi b. s 3 krova (*The Sovereign of the Seas*), no b. je toliko duboko gazio, da su zaklopci donje baterije došli tako nisko nad vodu, da je navigacija bila nemoguća, pa se morao skinuti čitav gornji krov sa svim topovima. O stabilitetu znalo se iz iskustva samo to, da širina b-a povećava stabilitet, a računski taj problem nije bio poznat. Dogodilo se, da su b-i nakon gradnje morali biti u razini vode izvana »opasani« s jednim ili s više slojeva greda, da im se poveća širina, jer su pokazali premalo stabiliteta. Naročito zasluzna za znanstveno proučavanje teorije b-a bila je u Parizu »Académie des Sciences«, koja se sredinom 17. st. počela baviti tim problemima. Sredinom 18. st. bili su već dobro poznati mnogi problemi geometrije broda, stabiliteta i t. d., a tu su se istakli Nijemac Euler, Švicar Bernoulli, Francuz Bouguer i Švedanin Chapman.

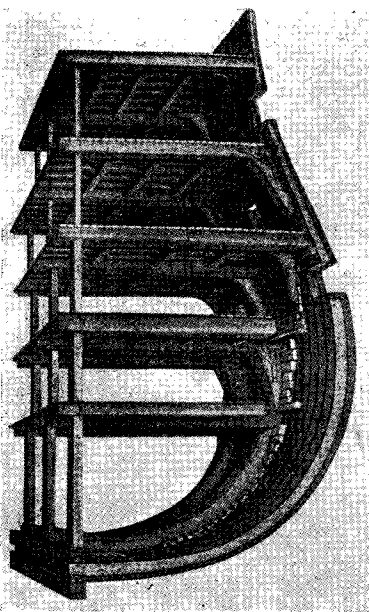
Iako je bilo većih b-a — kao najveći spominje se španjolski *Santissima Trinidad* sa 140 topova, navest ćemo gla-



SI. 18. NELSONOV BROD »VICTORY«

vne podatke o historijski najznamenitijem velikom brodu *Victory* admirala Nelsona (sl. 18).

B. je bio dug 68,3 m, širok 16, a gazio je 6,8 m; istisnina 3500 tona; imao je 5 krovova. Raspored građevnih elemenata vidi se na presjeku modela (sl. 19). Vanjske trenice oplata bile su 11½ cm debele, unutarnji priboj 10 cm, a rebra oko 40 cm. Debljina bočne stijene bila je prema tome oko 60 cm, što je za tadanje topništvo značilo već priličan



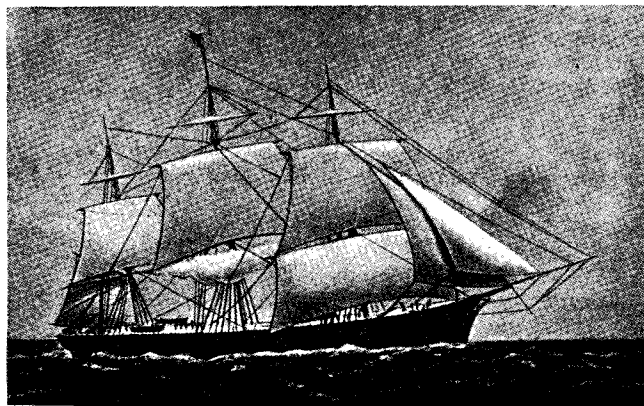
SI. 19. PRESJEK BRODA »VICTORY«

oklop. Sva je građa bila od hrastovine, spojena željeznim vijcima i svornicima. Pod vodom je b. bio obložen bakrenim limom. Zbog galvanske reakcije prorđali su vrlo brzo ti željezni spojevi, pa su nakon 30 godina bili zamijenjeni bakrenima. Na b-u je bilo 58 topova 42 funtaša, 30 topova 12 funtaša i 12 topova 6 funtaša. Posada je brojila 850 ljudi. B. je uz najpovoljniji vjetar mogao ploviti brzinom od 10 milja. Zanimljivo je, da je taj brod još i sada sačuvan.

Konačno treba spomenuti još jedan tip trgovačkoga drvenog b-a, koji je nastao oko g. 1800 te predstavlja kulminaciju u gradnji velikih drvenih b., a to su t. zv. *kliperi* (sl. 20). Kako su oni preko mora prevozili putnike i robu — većinom skupocjenu, kao čaj, miridije i t. d. — to se polagala osobita važnost na *brzinu*. To je pak značilo vitke linije, veliku duljinu b-a i naročito savršeno jedrilu. Velika duljina zahtijevala je osobit obzir na čvrstoću b-a u uzdužnom smislu radi naprezanja b-a kod savijanja na valovima. Da se postigne što veća ukočenost konstrukcije, ugrađivali su se posebni dijagonalni elementi, i to ili u obliku koso položenih upora u uzdužnom smislu u sredini broda (poput rešetkaste konstrukcije kod mostova) ili tako, da se unutarnji priboj polagao pod kutom od 45°, ili napokon i uz pomoć jakih željeznih obruča, koji su se pribili izvan rebara od kobilice prema krovu dijagonalno i unakrst. Svi su ovi b. bili obloženi bakrenim limom. Veličina tih brodova bila je do 2000 tona, a neki su postigli brzinu do 18 milja, brzinu, koju su parobrodi dosegli tek nakon više decenija od svog postanka.

Kod gradnje drvenog b-a postoje mnoge mane i ograničenja. Najvažnije je ograničenje u veličini b-a. Nemogućnost savršenog spajanja pojedinih komada drvene građe, a prema tome slaba suvislost tih pojedinih dijelova, ograničila je duljinu b-a, a s njom i veličinu. Praktički je najveća duljina

bila oko 70 m. B. se na valovima savija po duljini izmjenično prema gore i dolje, time se spojevi s vremenom rasklimaju — što je dulji b., to prije — pa je i trajanje b-a bilo dosta ograničeno. Drvo je podvrgnuto truhljenju, osobito u pojasu b-a, »između vode i vjetra«, a drvo, koje nije sječeno u zimsko doba, trune osobito brzo. Dogodilo se, da su veliki b. u roku od 15 godina sasvim propali. I gradnje b. trajalo je dugo — po više godina. Već za same pripreme trebalo je mnogo vremena, jer su se prema nacrtu b-a morala u šumi tražiti stabla, koja odgovaraju zakrivljenim dijelovima rebara, različni koljenasti komadi, rašlje i t. d., a tih t. zv. figuriranih komada bilo je oko 40% čitave drvene građe. Sječeno drvo ostavljalo se redovno godinu dana, da se suši. Pa i na brodogradilištu, kad je kostur b-a bio gotov, ostavljan je po godinu dana, da se suši prije pribijanja trenica. Škver je morao biti u smjeru sjever-jug, kako bi se obje strane b-a od sunca jednolično osušile i kako ne bi b. ispao iskrivljen. Drvena građa nije bila ekonomična, jer je kod obrađivanja bilo do 75% otpadaka. Nadalje je drvo pod vodom izvrgnuto opasnom crvu — *Toredo navalis* — ako nije obloženo limom. Kod drvenog b-a postoji velika opasnost od požara. Konačno je praktički nemoguće b. razdijeliti pregradama u nepropusne odjeljke te ga tako osigurati od potapljanja, kad prodre voda.



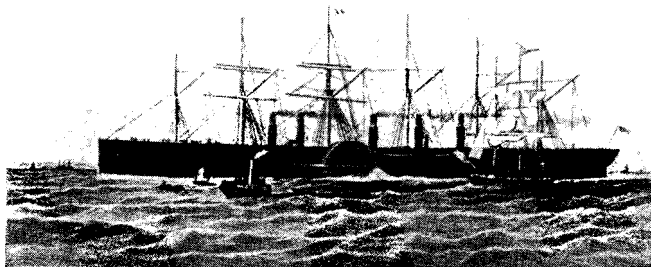
SI. 20. KLIPER IZ G. 1850

Posve je razumljivo, da je morao doći podesniji materijal. G. 1784 pronađen je postupak valjanja željeza, kojim je omogućena fabrikacija velikih limova i različitog profiliranog željeza, i već 3 godine iza toga gradi J. Wilkinson prvi željezni brod. D. S.

2. **Željezni brod.** Upotreba željeza za gradnju b. značila je početak novog razdoblja u brodogradnji. Odmah nakon prvih pokušaja pokazale su se tolike prednosti od novog načina gradnje, da se uskoro počelo s gradnjom većih objekata. G. 1822 gradi se prvi željezni parobrod *Aron Manby*, g. 1847 gradi genijalni Isambard Brunel parobrod *Great Britain* (3500 tona, duljina 87 m, širina 15,6 m). Upravo taj brod je slučajno mnogo pridonio, da se željezna gradnja počela naglo širiti. On se nesamo na svom prvom putovanju, već i par godina kasnije nasukao na grebene, i to pod takvim okolnostima, da bi se drveni brod bio bezuvjetno raspao. Brod se svaki put nakon razmjerno jeftinog popravka mogao dalje upotrebljavati.

Već 5 godina nakon gradnje ovoga b-a grade Englezi prvi orijaški brod *Great Eastern* (32.000 t, dulj. 207 m, šir. 25,3 m, sl. 1). Taj je brod bio određen za plovidbu oko Afrike do Australije, na njemu je bilo mjesta za 3600 ljudi. Imao je kotače i propeler, a strojevi od ukupno 8000 KS davali su mu brzinu od 14 milja. Nacrte izradio je I. Brunel, a gradnju je vodio Scott Russel. Konstrukcija toga b-a bila je pravo tehničko remek-djelo. B. je imao dvostruku oplatu dna i bočnih stijena sve do donjega krova, uz jaka poprečna rebra čitav sistem uzdužnih rebara (radi veće uzdužne čvrstoće s obzirom na veliku duljinu broda) i mnogo drugih detalja, koji su tek nakon decenija upotrebljeni kao »novosti« u brodogradnji. Na žalost taj je b. uz mnoge nezgode i financijski potpuno zatajio — nije još postojala potreba za takvu veliku jedinicu. Njegovu veličinu dostigli su brodovi tek nakon 60 godina!

Gotovo u isto vrijeme, kad se počelo željezo upotrebljavati u brodogradnji, pojavljuju se dva čimbenika, koji

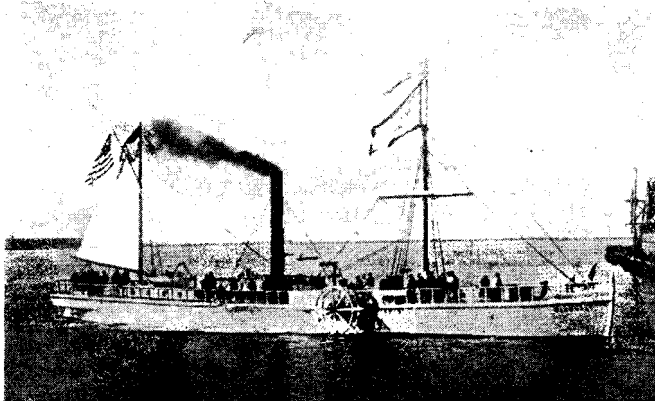


Sl. 1. PAROBROD »GREAT EASTERN«
(F. C. Bowen, *The sea, its history and romance*)

su odlučno zahvatili u oblikovanje b., pa ih treba ovdje napose istaknuti; to je parni stroj i brodski vijak.

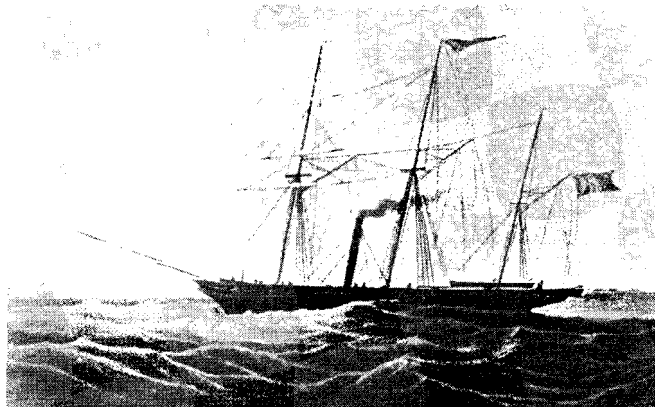
Primjena parnog stroja pokušavana je oko g. 1800 u više navrata, no najodlučniji su bili pokusi Amerikanca Fultona na Seini 1803, a nakon toga uspjela gradnja prvog parobroda *Clermont* u New Yorku 1807 (sl. 2).

Teoretske pretpostavke za vijak kao sredstvo propulzije b-a postavili su sredinom 18. st. Euler i Bernoulli. Praktičku primjenu, odnosno projekte, izvode mnogi izumitelji: 1775 Amerikanac David Bushnell na podmornici, 1787 Amerikanac John Fitch, 1811 Austrijanac Joseph Ressel (1829 pokus u Trstu na brodu *Civetta*), 1823 Francuzi Delisle i Sauvage, 1836 Englez F. P. Smith, koji je 1839 sagradio prvi parobrod na vijak *Archimedes* (sl. 3).



Sl. 2. PRVI PAROBROD »CLERMONT« (1807)
(G. La Roërie-J. Viville, *Navires et mar.*)

Kako je već spomenuto, željezo kao građevni materijal pokazalo je odlična svojstva. Kako su pojedini dijelovi b-a zakovicama mogli biti vrlo dobro spojeni, pa su brodske trupine postale tako reći jedno potpuno suvislo tijelo velike čvrstoće, otpalo je svako ograničenje u duljini i veličini b-a, a i trajanje b-a postalo je mnogostruko dulje.



Sl. 3. PRVI PAROBROD NA VIJAK »ARCHIMEDES« (1839)
(*Enciclopedia Italiana*)

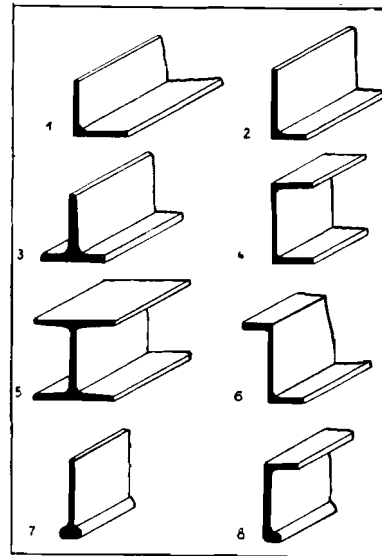
Dobava materijala bila je ubrzana, otpalo je čekanje na sezonu, kao što je kod sječe drva; otpalo je i sušenje.

Davanje oblika b-u postalo je vrlo lako.

Otpadci materijala bili su svedeni na minimum (5—10%). Omogućeno je ugraditi nepropusne pregrade i time polučiti stanovitu sigurnost, da se b. ne potopi, a uz to je i znatno

povećana sigurnost od požara. Željezna konstrukcija lakša je od drvene, tako da kod iste veličine željezni brod može nositi od pr. 25% više tereta, a kako je željezna konstrukcija tanja, dobiva se i na prostoru oko 20%. Uvođenjem čelika mjesto željeza postale su konstrukcije još za kojih 10% lakše.

Prema ovim tehničkim i ekonomskim prednostima stajale su samo dvije mane: rđanje željeza i loše djelovanje na kompas. Čišćenjem i dobrim ličenjem može se rđanje svesti na minimum, a i djelovanje na kompas dade se gotovo sasvim ukloniti metodama kom-



Sl. 4.

penzacije. Uvođenjem zvrka-komasa (giroskopa) odstranjene su sve pogreške magnetskoga komasa.

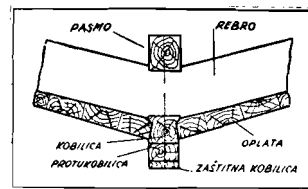
Za gradnju broda služi danas čelik u obliku limova te raznovrsnog profiliranog željeza.

Najviše se upotrebljavaju profili (sl. 4):

- kutna željeza (uglovnice) pod 1 i 2,
- T-profil pod 3,
- dvostruko-T-profil (traverze) 5,
- U-profil 4,
- Z-profil 6,
- i bubleni profili pod 7 i 8

i još neki drugi.

Limovi u različitim veličinama najveće su duljine 8 m, širine 2,80 m, a debljine do 40 mm.



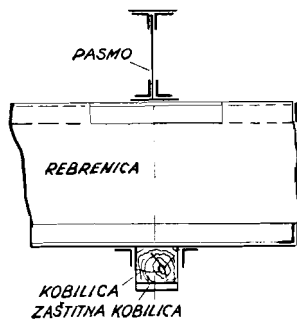
Sl. 5.

Sl. 5 prikazuje ove elemente kod drvenog b-a. Vrlo izbočena kobilica (Kiel) s protukobilicom (Gegenkiel) i zaštitnom kobilicom (Looskiel) tvorila je zaštitu broda kod dodira s morskim dnom, a ujedno je bila ta izbočenost potrebna za bolje držanje smjera kod jedrenja.

Nad rebrima ležala je jaka greda — pasmo (Kielschwein), koja je s kobilicama i rebrima bila spojena dugačkim svornicama od mjedi ili željeza.

I kod prvih željeznih b-ova zadržana je drvena kobilica (sl. 6).

Tek kasnije zamijenjeno je drvo jednim žlijebom od kovana lima (sl. 7), dok nije i taj žlijeb ustupio mjesto masivnoj željeznoj gredi, koja se prikovala među rubove lima oplata, svinute prema dolje. *Gredna kobilica* (Balckenkiel) sl. 8.



Sl. 6.