

Izvor Grubišić¹, Radovan Despot², Jelena Trajković², Mladen Balić³

Perspektive drva kao brodograđevnog materijala u Hrvatskoj

The prospects of wood as a shipbuilding material in Croatia

Professional paper • stručni rad

Received - *prispjelo*: 25. 04. 2001. • Accepted - *prihvaćeno*: 22. 05. 2001.

UDK 630*838.60 i 832.286

SAŽETAK • U hrvatskoj brodograđevnoj praksi drvo je tradicionalan i često nezamjenjiv materijal, poglavito u izgradnji manjih brodica i ribarskih i putničkih brodova. Nalazišta monoksilna, kondura i galija u Jadranu, koja datiraju još od antičkih vremena, govore o rasprostranjenosti korištenja drva, ali i o njegovoj kvaliteti. Uostalom još je uvijek bar polovica registriranih manjih brodova i većih brodica koji plove Jadranom izrađeno je od drva. U ovom radu dan je pregled vrsta drva koje se tradicionalno rabe u hrvatskim brodogradilištima za izradu drvenih brodova i brodica. Uz pogodne tipove brodova za gradnju trupa od drva opisani su načini spajanja i konstrukcije. Spomenuti su i problemi pri izboru drva i spajanju konstruktivnih elemenata. Na kraju, uz neke od najčešćih razarača brodograđevnog drva, tzv. marinskih štetnika, spomenuti su neki tradicionalni načini preventivne zaštite brodograđevnog drva, odnosno novija sredstva i postupci u kemijskoj zaštiti drva u brodogradnji.

Ključne riječi: brodograđevno drvo, drvene brodice i brodovi, gradnja, obnova i zaštita drvenih brodova

SUMMARY • In Croatian shipbuilding practice, wood has been used as traditional and often irreplaceable material, mainly in the construction of boats and smaller fishing and passenger ships. The archeological remains of the monoxyls, conduras and galleys found in the Adriatic, some of which date back to the antic period, confirm the widespread use of wood and its quality in the region as well.

It is estimated that at least half of registered large boats and small ships in Croatia are made

¹ Autor je izvanredni profesor na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu

² Autori su redom, docent, odnosno viši asistent na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu

³ Autor je dipl. ing. drvne tehnologije zaposlen u poduzeću «Tvin» Virovitica

¹ Author is an associate professor at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture of the Zagreb University.

² Authors are an assistant professor and a senior assistant, respectively, at the Faculty of Forestry of the Zagreb University.

³ Autor is a wood technologist at the TVIN company in Virovitica, Croatia.

Rad je u neznatno izmijenjenom obliku predstavljen na konferenciji "Drvo u graditeljstvu – tradicija i budućnost" u Zagrebu, u travnju 2001.

The article is a slightly altered version of a paper presented at the conference *Wood in Construction – Tradition and Future* in Zagreb, in April 2001.

of wood. In this article, a review of the wood species that are traditionally used in Croatian shipyards for the construction of wooden boats and ships is presented. Beside the types of ships suitable for the wooden construction of hull, applicable structural connections and details are described. Specific problems related to appropriate selection of wood species and to the joining of constructions elements are also mentioned. Described are the main marine borers living in the Adriatic Sea. Finally, presented are some of the traditional preventive methods for the protection of shipbuilding wood, as well as some new preservatives and methods.

Key words: shipbuilding wood; wooden ships and boats; building, maintenance and protection of wooden ships

**UVOD
INTRODUCTION**

Drvo je nedvojbeno najranije primijenjeni brodograđevni materijal. Premda je danas u brodogradnji često zamijenjeno metalima i umjetnim materijalima-kompozitima, ipak još postoji značajni dio gradnje pojedinih vrsta brodova u raznim varijantama drvene konstrukcije. Člankom se želi skrenuti pažnja na sadašnje stanje i perspektive primjene drva kao građevnog materijala broskog trupa i nadgrađa. Premda je u devedesetim godinama u Hrvatskoj drvena brodogradnja doživjela udar masovnim uvozom isluženih i jeftinih drvenih brodova većinom iz Italije, ipak se gradnja drvenih brodova u

domaćim brodogradilištima održala i premda smanjenim tempom grade se novi ribarski i putnički brodovi te obnavljaju stari.

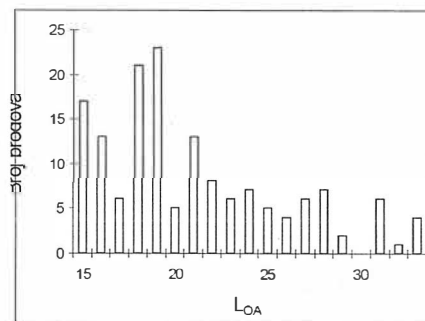
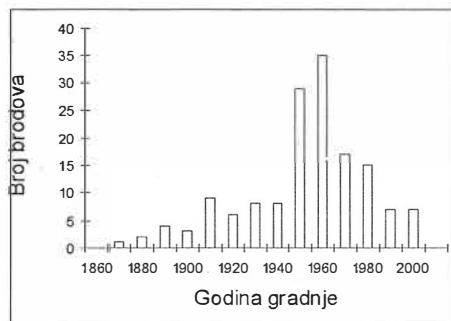
**1. GRADNJA DRVENIH BRODOVA U HRVATSKOJ
1. THE BUILDING OF THE WOODEN SHIPS IN CROATIA**

Na Hrvatskoj obali drveni brodovi su prisutni još od antičkih vremena. Nalazišta monoksila, kondura, galija i novijih brodova u jadranskom podmorju dokumentiraju rasprostranjenost korištenja drva ali i neke njegove kvalitete. Neki tradicionalni tipovi brodice i brodova istočne jadranske obale kao batana, guc, gajeta, pasara, leut, bracara,

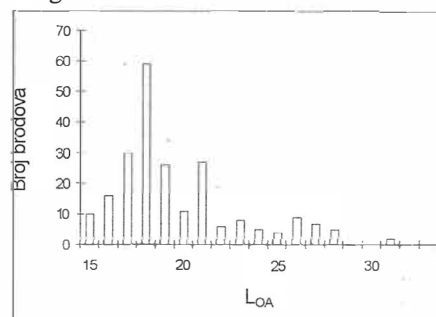
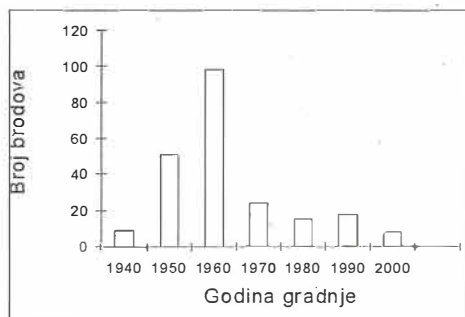
Tablica 1.
Registrirane brodice i brodovi u hrvatskim Lučkim kapetanijama. • Number of boats and ships registered by Croatian Port Authorities.

LUČKA KAPETANIJA:	PULA	RIJEKA	SENJ	ZADAR	ŠIBENIK	SPLIT	PLOČE	DUBROVNIK	ukupno
Broj registriranih brodice	15013	23246	2423	15748	9667	20283	4	10568	96952
Broj ribarskih brodova	45	66	0	82	24	132	0	17	366
Broj upisanih brodova	111	343	0	206	49	403	12	125	1249

Slika 1.
Histogrami drvenih brodova klasificiranih u Hrvatskom Registru Brodova • Histograms of the wooden ships classed by the Croatian Register of Shipping



Putnički brodovi - Passenger vessels



Ribarski brodovi - Fishing vessels

trabakul, pelig, grade se i danas. Već površni pregled brodica i brodova u hrvatskim lukama pokazuje da drvo nije iščezlo iz brodogradnje. Nažalost nekih vrsta brodova ima još vrlo malo ili nimalo (bracera, trabakul, pelig, loger) ali se neki tipovi tradicionalnih brodica grade i koriste u nesmanjenom opsegu (pasara, gajeta). Veliki dio ribarske flote je građen od drva a također i turističke flote. Veći brodovi, iznad 25-30 m duljine, danas se najčešće grade od čelika.

Brodogradilišta drvenih brodova su pretežno locirana u manjim mjestima: Mokošici, Sumartinu, Korčuli, Veloj Luci, Kantridi, Cresu, Šibeniku, Vranjicu, Betini, Krku, Puntu, Puli, uz cijeli niz manjih radionica. Prema podacima Hrvatske gospodarske komore, Strukovnog udruženja Brodogradnja, grupacija Mala brodogradnja obuhvaća u djelatnosti gradnje brodova ukupno 34 brodogradilišta odnosno radionice za gradnju brodica. Ovome treba dodati i veliki broj zanatskih radilišta koja nisu u ovom registru.

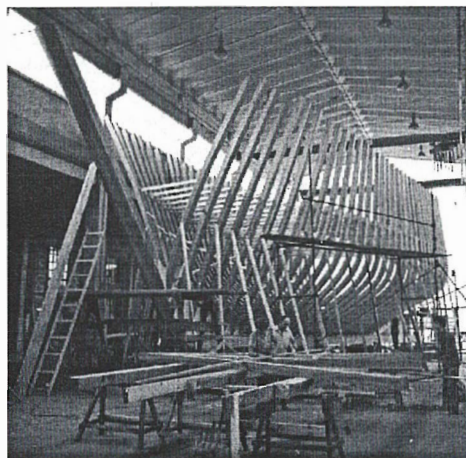
Popis brodica u 8 Lučkih kapetanija (vidi Tablicu 1.) sadrži ukupno 96952 brodice od kojih je barem polovina drvene gradnje, dok popis brodova Hrvatskog Registra Brodova sadrži ukupno 473 drvena broda, od toga 61 teretni, 155 putničkih, 227 ribarskih te 30 brodova ostalih vrsta. Od ukupno 366 ribarskih brodova 227 je drvenih.

U histogramima na Sl. 1., je prikazana struktura drvenih putničkih i ribarskih brodova klasificiranih u Hrvatskom Registru brodova. Prvo što se može primijetiti je značajan broj brodova građenih iza drugog svjetskog rata u periodu od 1945. do 1960. koji još uvijek dobro služe. Zanimljivo je da još uvijek plovi i priličan broj brodova koji su u građeni prije prvog svjetskog rata a neki i još u XIX stoljeću. Ovdje se vidi važna osobina drvenih brodova, a to je da uz primjereno održavanje i obnavljanje mogu vrlo dugo trajati. Također je vidljivo da se drveni brodovi, premda u majem opsegu nego ranije grade i danas pretežno za potrebe nautičkog turizma i ribarenja (vidi Sl. 2.).

2. OSOBINE DRVA KAO BRODOGRAĐEVNOG MATERIJALA 2. THE PROPERTIES OF WOOD AS A SHIPBUILDING MATERIAL

Upotreba drva za gradnju brodova stara je kao i sama brodogradnja. Ljude je k drvu privukla prvo činjenica da drvo pliva, a potom da se drvo može relativno lako obrađivati. Prvotno se drvo obrađivalo primitivnim alatom no kako je evoluirao čovjek napredovale su tehnike i alati.

Drvo je do početka 19. stoljeća bilo i



Slika 2.

Drveni ribarski brod u gradnji (Punat 1984.) • Building of wooden fishing vessel (Punat 1984)

jedini materijal u brodogradnji. Kao posljedica industrijske revolucije u brodogradnji se kao i u drugim granama industrije počinju upotrebljavati i drugi materijali. U početku je to čelik, a tijekom prve polovice prošlog stoljeća i plastika, stakloplastika, odnosno beton. Iako pojavom navedenih i drugih materijala drvo počinje gubiti važnost u brodogradnji, ipak njegove prednosti pred drugim materijalima ostaju nepobitne. Te prednosti su: mala gustoća, sposobnost da pliva na vodi, pogodni proizvodni oblici (pravi i zakrivljeni komadi) i dimenzije, laka obradivost jednostavnim alatom, relativno velika čvrstoća u odnosu na masu, velika otpornost prema korozivnom djelovanju pojedinih kemijskih agenasa atmosfere i svojstvo izolacije topline.

Istina je da drvo pokazuje i neke nepoželjne strane kao što su: nehomogenost građe, razlike u čvrstoći u uzdužnom i poprečnom smjeru, mala trajnost u vodi zbog morskih štetnika, higroskopičnost, utezanje i bubrenje, korozija metalnih dijelova (čavala i vijaka) zbog djelovanja kemijskih sastojaka nekih vrsta drva (trjeslovine u hrastovini) i dr.

Pronalaženjem novijih materijala, visokokvalitetnih sintetskih ljepila i sredstava za impregnaciju, sve većim korištenjem lameliranih drva i vodootporne šperploče, upotreba drva unazad nekoliko godina doživljava svoju «renesansu» u brodogradnji.

3. POGODNI TIPOVI BRODOVA ZA DRVENU GRADNJU TRUPA 3. THE SUITABLE SHIP TYPES FOR THE WOODEN HULL

Specifičnosti drvene konstrukcije čine je prikladnom za pojedine vrste brodova. Klasična drvena konstrukcija trupa pogodna je za ribarske brodove posebno u uvjetima Jadranskog mora. Razloge treba potražiti u dostupnosti drva, postojanju majstora drvene brodogradnje, mogućnosti gradnje vrlo jed-

nostavnom tehnologijom, prihvatljiva masa trupa, trajnost i jednostavni popravak, dobra izolacijska svojstva, a donekle i tradicionalistički stav naših ribara. Problem izrade velikih građevnih elemenata kao i problemi njihovog spajanja ograničavaju veličinu drvenih trupova na oko 25 m duljine premda se pojedinačno mogu susresti i veći drveni brodovi. Primjena lameliranja npr. samo kobilice i statve te velikih koljena i zoja uvelike olakšava gradnju i pomiče granicu veličine broda. Analogno drvenim ribarskim brodovima drvo je pogodno u klasičnoj izvedbi za gradnju istisninskih brodova relativno male brzine koji u osnovi formom trupa i konstruktivnim rješenjima i slične ribarskim brodovima. To se u najvećoj mjeri odnosi na flotu putničko-turističkih brodova za krstarenje Jadranom. Dobar dio postojeće flote se sastoji od vrlo starih brodova (nekoliko ih je građeno prije 1900) koji su doživjeli više rekonstrukcija. Ovdje je posebna pogodnost neograničena trajnost drvenih brodova jer se bilo koji oštećeni ili truli dio konstrukcije može zamijeniti novim. Neki od tih brodova vjerojatno nemaju više ni jednog originalnog komada drva, ali su to još uvijek isti brodovi.

Brzi brodovi namijenjeni prijevozu putnika, ili nekoj javnoj službi, nisu pogodni za primjenu klasične drvene konstrukcije zbog prevelike težine trupa i time povećane potrebne snage strojeva za postizane tražene brzine. Moderne tehnike lameliranja omogućavaju i u ovom području gradnju laganih i dovoljno čvrstih trupova usporedivih s kompozitnom ili

alumijskom konstrukcijom. Treba napomenuti da masi konstrukcije od lakih legura treba pribrojiti masu izolacije zvučne, toplinske i protupožarne, dok drvena lamelirana gradnja ima ne samo dobra svojstva izolacije već i estetske osobine koje ne zahtijevaju sustavno oblaganje unutrašnjih ploha. Naravno, troškovi gradnje kao i traženi tehnološki uvjeti za gradnju lamelirane konstrukcije približavaju se zahtjevima za kompozitne konstrukcije ako se mora postići vrhunska kvaliteta i mala masa trupa. Ovdje je primjereno govoriti o prednostima serijske gradnje jer su potrebna znatna ulaganja u naprave i šablone.

4. PREGLED VRSTA DRVA KORIŠTENIH U HRVATSKOJ BRODOGRADNJI 4. THE REVIEW OF WOOD SPECIES IN THE CROATIAN SHIPBUILDING

Budući da se od brodograđevnog drva općenito zahtijevaju izuzetna svojstva, samo određene vrste drva su našle široku primjenu u brodogradnji. Od presudnog su značenja prirodna trajnost i dobra obradljivost, a od mehaničkih svojstava za brodogradnju su najznačajnije: čvrstoća na savijanje, krutost, čvrstoća na smik, tlačna čvrstoća uzdužno na vlakanca, tlačna čvrstoća okomito na vlakanca, tvrdoća, elastičnost i žilavost.

Kako su brodogradnja i obrada drva višestoljetne i tradicionalne vještine hrvatskog čovjeka, od samog su se početka međusobno prožimale i iskustveno nadopunjavale. Istovremeno, naše su šume od pamtivijeka bile izvor kvalitetnih vrsta drva koje je na žalost u nekim

Tablica 2.

Prirodna trajnost, obradljivost, i primjena najznačajnijih vrsta drva u hrvatskoj brodogradnji.
• *Natural durability, workability and use of the most important wood species in the Croatian shipbuilding.*

Vrsta drva Wood species	Prirodna trajnost srži Natural durability of heartwood	Obradljivost Workability	Primjena u brodogradnji The use in the shipbuilding
Hrastovina lužnjaka	srednje trajna	dobra	Konstruktivni i pomoćni dijelovi trupa broda (kobilica, rebra)
Hrastovina kitnjaka	srednje trajna	dobra	Široka primjena za sve dijelove zbog visoke kvalitete
Hrastovina medunca	srednje trajna	dobra	Kao i hrastovine kitnjaka i lužnjaka, naročito su cijenjeni zakrivljeni komadi za rebra
Hrastovina crnike (česmne)	srednje trajna	teška	kobilice, statve, rebra, ruda, kormila i palci za vesla
Brestovina	slabo trajna	dobra, dobro se konzervira	Unutrašnje obloge kabina, drveni koloturnici, namještaj
Jasenovina	izrazito slabo trajna	lagana	Elementi trupa drvenog broda, vesla rukohvati, ograde, namještaj
Dudovina (murva)	trajna	dobra	Klinci, moždanci, kobilice
Bukovina	izrazito slabo trajna	dobra	Elementi trupa drvenog broda, unutrašnje pregrade i namještaj
Grabovina	izrazito slabo trajna	teška	Spojeni elementi, unutrašnja oprema (drvorezbarstvo)
Javorovina	izrazito slabo trajna	lagana	Unutrašnje obloge kabina, dijelovi čamaca, namještaj
Orahovina	srednje trajna	dobra	Unutrašnje obloge kabina, namještaj
Ariševina europska	srednje do slabo trajna	dobra i lagana	oplata i lameliranje
Borovina obična	srednje do slabo trajna	vrlo dobra i lagana	Brodске podnice, jarboli, oplata i ograde, lamelirano drvo
Jelovina	slabo trajna	dobra i lagana	Obloge i pregrade skladišta
Smrekovina	slabo trajna	dobra i lagana	Obloge i pregrade skladišta, podnice, pokrovi grotala, jarboli
Tikovina	vrlo trajna	dobra, katkad se teško lijepi	Elementi trupa drvenog broda, paluba i svi vidljivi dijelovi
Mahagonijevina prava	trajna	dobra	Oplata i trenice palube, unutrašnji dijelovi, vodootporna šperploča

Vrsta drva Wood species	Gustoća kod 12 % vlage drva Density at 12 % m.c. (kg/m ³)	Radijalno utezanje Radial shrinkage (%)	Tangen- cijalno utezanje Tangential shrinkage (%)	Čvrstoća na savijanje Bending strength (Mpa)	Čvrstoća na smicanje II Shear strength II (Mpa)	Čvrstoća na tlak II Compression strength II (Mpa)	Tvrdoća Hardness (Mpa)
Hrastovina lužnjaka	670-710-760	4,9	9,4	74-88-105	6-11-13	54-61-67	28-65-101
Hrastovina kitnjaka	670-710-760	4,8	9,3	78-110-117	6-11-13	48-65-70	43-69-99
Hrastovina medunca	oko 980	srednje	srednje			57,5	96-118-128
Hrastovina crmike (česmina)	800-960	veliko	veliko				113,1
Brestovina	630-650-680	4,6	8,3	56-89-200	7	37-56-73	47-64-114
Jasenovina	680-700-750	5,0	8,0	58-120-210	9-12,8-14,6	23-52-80	41-76-115
Dudovina (murva)	650	slabo	slabo			oko 41	
Bukovina	690-710-750	5,0	11,8	74-123-210	6,5-8-19	41-62-99	54-78-110
Grabovina	750-800-950	6,8	11,5	58-160-200	8,5	55-82-99	67-89-126
Javorovina	610-640-680	3,0	8,0	50-95-140	9	29-49-72	52-67-86
Orahovina	630-670-680	5,4	7,5	90-147-178	7	46,5-72-89	53-72-88
Ariševina europska	470-600-650	3,3	7,8	64-99-132	4,5-9-10	35-47-69	22-38-70
Borovina obična	500-520-540	4,0	7,7	41-100-206	6,1-10-14,6	35-55-94	19-30-50
Jelovina	440-460-480	3,8	7,6	47-73-118	3,7-5-6,3	31-47-59	18-34-53
Smrekovina	440-460-470	3,6	7,4	49-78-136	4-6,7-12	35-50-79	14-27-46
Tikovina	650-680-750	2,5	4,2	116-148-190	9	60-72-102	38,5
Mahagonijevina prava	700-720-770	3,2	5,1	58-65-130	10,5	29-50-73	61,5

Tablica 3.

Prosječne, minimalne i maksimalne vrijednosti fizikalnih i mehaničkih svojstava najznačajnijih vrsta drva u hrvatskoj brodogradnji • Average, minimum and maximum values of some physical and mechanical properties of the most important wood species in the Croatian shipbuilding.

razdobljima naše povijesti tuđin eksploatirao hametice (Rimljani, Mlečani i Turci). Svakako da sve vrste drva nisu dolazile u obzir pri odabiru drvnog materijala za izradu brodova, ali su se vremenom i zbog gore navedenih svojstava neke vrste izdvojile. Od drva listača u našem podneblju najzastupljenije je u brodogradnji drvo hrasta lužnjaka (*Quercus pendunculata* Ehrh.), hrasta kitnjaka (*Q. sessiliflora*, Salisb.), hrasta medunca (*Q. pubescens* Willd.), crmike ili česmine (*Q. ilex* L.), a od ostalih vrsta treba spomenuti drvo brjesta (*Ulmus* L.), jasena (*Fraxinus* L.), duda (*Morus* L.), bagrema (*Robiniapseudoacacia* L.), bukve (*Fagus* L.), graba (*Carpinus* L.), javora (*Acer* L.), oraħa (*Juglans regia* L.) i lipe (*Tilia* L.).

Četinjače su zastupljene pretežno drvom ariša (*Larix* Mill.) i bora (*Pinus* L.), katkada smreke (*Picea* A. Dietr.), a rjeđe jele (*Abies* Mill.).

Od prekomorskih vrsta drva najzastupljenije je drvo tika (*Tectona grandis* L. f.), mahagonija (*Swietenia* sp.), cedra (*Cedrus* Lk.) i duglazije (*Pseudotsuga taxifolia* Asch. et Gr.).

U Republici Hrvatskoj površina šuma i šumskog zemljišta iznosi 44 % površine kopnenog državnog teritorija. Od ukupne drvene zalihe koja iznosi 324.256.000 m³ država upravlja s 85,8 %, a postotni udjeli odabranih vrsta su sljedeći: bukva 36; hrast lužnjak 14; kitnjak 9,9; medunac 1,3; crmika 1,6; jasen 3,2; grab 7,6; jela 9,4; smreka 1,9; obični bor 0,3. Državne šume proizvedu 3 milijuna m³ drvnih sortimenata godišnje, u čemu je postotni udjel odabranih vrsta sljedeći: hrast 20,9; bukva 35,6; jasen 3,1; grab 6,5; jela/smreka 13; bor 0,5.

5. PROBLEMI KOD IZBORA BRODOGRAĐEVNOG DRVA 5. THE PROBLEMS OF SHIPBUILDING WOOD SELECTION

Izbor prikladnog brodograđevnog drva oduvijek je bio jedan od glavnih zadataka brodograditelja. Raspoloživost drvene građe

velikih dimenzija se, posebno u Europi, značajno smanjila. Sama drvena brodogradnja je tome značajno pridonijela. Postoji podatak da je za jedan drveni linijski brod u 18 stoljeću trebalo čak i do 10000 stabala (hrastovine i borovine pretežno). Problem dimenzija i potrebne zakrivljenosti kod gradnje velikih drvenih brodova, iscrpio je europske resurse te se ubrzo potražilo drvo u kolonijama.

Klasična drvena konstrukcija, posebno većeg objekta, daje relativno velike težine trupa, usporedive s težinom odgovarajućeg čeličnog trupa. Lagane i jeftinije konstrukcije od drva traže pouzdan način spajanja i smanjenje potrebe za gomilanjem materijala.

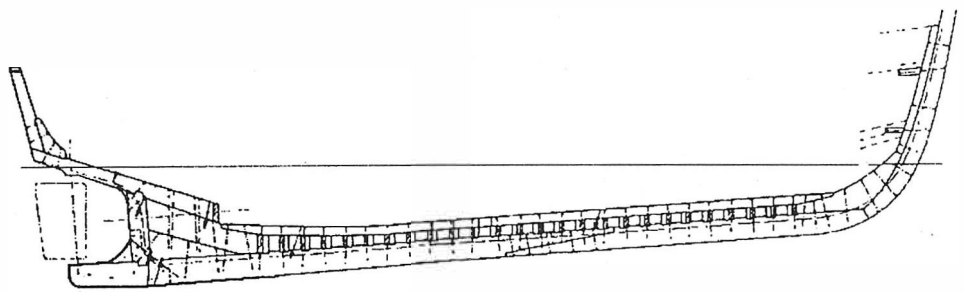
- Moderna lijepljena konstrukcija motivirana je rješavanjem glavnih problema drvene konstrukcije:
- Formiranje građevnih elemenata velikih dimenzija (posebno duljine)
- Formiranje zakrivljenih elemenata (kakvih u prirodi nema)
- Eliminiranje nepravilnosti u drvu (čvorovi, trula mjesta, napukline)
- Zaštita drva od svih vrsta oštećenja i propadanja
- Bolje iskorištenje raspoloživog drva

6. PROBLEMI SPAJANJA KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA 6. THE PROBLEMS OF JOINING STRUCTURAL ELEMENTS

Glavna poteškoća klasične drvene brodogradnje je relativna slabost spojeva, posebno spojeva velikih građevnih elemenata kao što je kobilica, statve, rebra i rebrenice. Slabost spoja nadoknađuje se gomilanjem materijala i udvostručenjem debljine. Tako se klasična piljena rebra grade od dva sloja elemenata iste debljine kojima se spojevi u jednom sloju razmjestе na sredinu između spojeva drugog sloja i sve

Slika 3.

*Uzdužni presjek
drvenog broda •
Longitudinal section of
wooden vessel*



međusobno spoji čavlima ili svornjacima (vidi Sl. 3). Nosivost takvog elementa jednaka je nosivosti samo jednog sloja dok drugi služi samo spajanju. Ovdje je naročito potrebno posvetiti pažnju pronalaženju drva prirodne zakrivljenosti kako se vlakna ne bi morala presijecati radi formiranja potrebnog oblika građevnog elementa.

Istovremeno veliki nosači zahtijevaju duljine drva kakvog u prirodi nema ili ima u

vrlo ograničenim količinama. Spajanje drva u uzdužnom smislu klasično se radi spojem na ključ (vidi Sl. 3). Takav spoj je slabo mjesto konstrukcije i treba ga pojačati dodatnim materijalom a to znači ponovno gomilanje materijala.

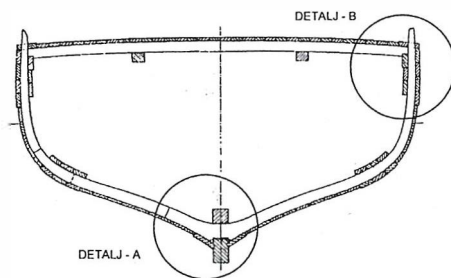
Najteže je konstruktivno riješiti spojeve kod kojih se dva elementa spajaju pod približno pravim kutom, tipično je to na brodu spoj kobilice i pramčane i krmene statve (vidi Sl. 3), spoj rebara lijevog i desnog boka iznad kobilice (vidi Sl. 4-detalj-A) i spoj rebara i sponja (vidi Sl. 4-detalj-B). Spoj se redovito izvodi umetanjem spojnog elementa u obliku koljena. Vrlo je teško pronaći prirodno zakrivljeno drvo potrebnih dimenzija kojemu vlakna zakreću pod skoro 90°. Uspješno rješenje tih spojeva može se znatno olakšati primjenom lamelirane gradnje samih elemenata a također i oplata.

Dodirna oplata sastavljena od međusobno nepovezanih platica daje trupu broda slabu krutost na uvijanje koje dolazi od opterećenja nastalog gibanjem na morskom valovlju. Platice koje nisu međusobno povezane nego samo zabrtvljene protiv prodora vode, međusobno se pomiču i ne prenose smična naprezanja tako da predstavljaju relativno neefikasni nosač. Često se može vidjeti deformirane trupove starijih drvenih brodova uslijed momenta savijanja trupa nastalog viškom uzgona u sredini broda i manjkom uzgona na krajevima. Progibi ponekad poprimalju groteskne razmjere. Međusobnim povezivanjem platica ili izradom oplata u više slijepljenih slojeva postiže se znatno veća krutost i čvrstoća cijele konstrukcije a to znači i mogućnost gradnje laganijeg trupa (vidi Sl. 5.-a i 5.-b).

Ljepilo je kod lamelirane gradnje presudno za uspješno rješenje spojeva. Danas se najčešće primjenjuje sustav WEST (Wood Epoxy Saturation System) koji je razvijen tako da istovremeno riješi i spajanje i zaštitu drva. Ista smola se uz primjerena punila koristi za lameliranje, impregnaciju i površinsku zaštitu. Za razliku od klasične konstrukcije gdje drvo

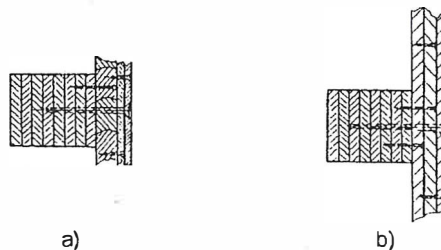
Slika 4.

*Glavno rebro drvenog
broda • Midship section
of wooden vessel*



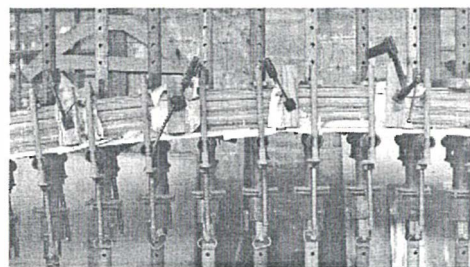
Slika 5.

*Lamelirano rebro i, a)
letvičasta oplata, b)
dijagonalna lamelirana
oplat • Laminated frame
and, a) strip planking, b)
diagonal cold molded
plating*



Slika 6.

*Lameliranje palubne
sponje • Laminating deck
beam*



Slika 7.

*Lameliranje masivnih
konstruktivnih elemenata
• Laminating massive
structural elements*



stalnomijenja sadržaj vlage, kod WEST sustava drvo se potpuno oblaže zaštitnim slojem koji (u teoriji) ne dopušta prolaz vode u drvenu strukturu. Postoje i druga ljepila, posebno zalameliranje elemenata konstrukcije (npr. resorcinsko ljepilo), ali je danas lakoća primjene i kvaliteta spojeva putem epoksidnih ljepila i sustava zaštite praktično istisnula ostala ljepila.

7. PREPORUČENA KONSTRUKTIVNA RJEŠENJA 7. THE RECOMMENDED STRUCTURAL SOLUTIONS

Primjenom lameliranja mnogi problemi klasične drvene konstrukcije se mogu olakšati ili sasvim ukloniti. Lameliranje naravno donosi svoje probleme, ali pogodna je činjenica da se ono može uvesti u poželjnoj mjeri, od samo najjednostavnije izrade lameliranih elemenata koji se zatim dalje spajaju kao da su nastali prirodnim putem, pa sve do potpuno lamelirane konstrukcije s višeslojnom oplatom (vidi Sl. 6. i Sl. 7.).

Posebno napregnuti dijelovi brodske konstrukcije su sklop kobilice i sklop spoja boka i palube. Ovdje se preuzimaju najveća naprezanja uslijed savijanja broskog trupa, a i najviše su izloženi oštećenju kod nasukanja ili udara o obalu zbog svog izloženog položaja.

Prikazana su neka moguća rješenja sklopa kobilice i rebrenice (vidi Sl. 4-detalj-A):

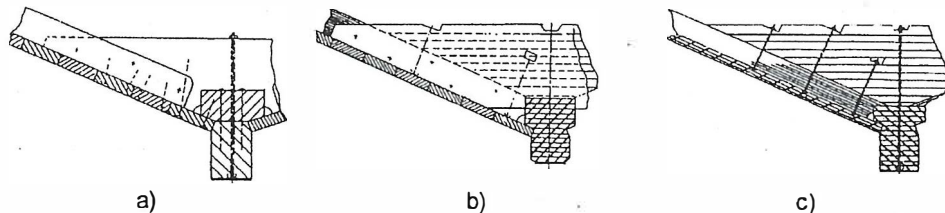
- uobičajena rebrenica koja preklapa rebra i kobilica sastavljena od dva dijela (Sl. 8.-a).
- lamelirana rebra s rebrenicom od šperploče i lameliranom kobilicom (Sl. 8.-b i Sl. 9.).
- potpuno lamelirana konstrukcija kod koje je rebrenica postavljena iznad rebra (Sl. 8.-c).

U svakom slučaju zadržava se znatni dio mehaničkog spajanja svornjacima, dijelom zbog dodatnog osiguranja prenošenja velikih opterećenja u konstrukciji a dijelom zbog tehnoloških zahtjeva u gradnji.

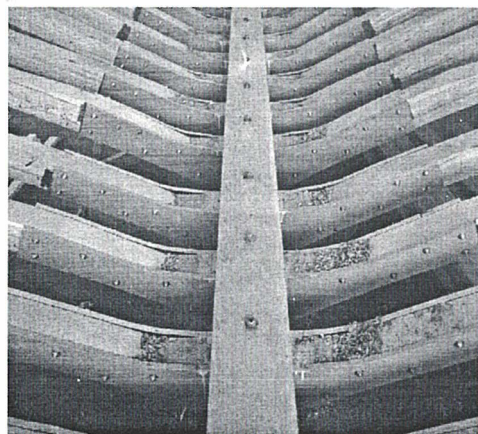
Spoj palube i boka broda (vidi Sl. 4-detalj-B), moguće je riješiti na mnogo načina od kojih su neki prikazani na Sl. 10. Na spoju se križaju važni elementi uzdužne i poprečne čvrstoće, a treba osigurati i nepropusnost. Ovdje je također lameliranje moguće primijeniti potpuno ili samo djelomično.

Na slikama 10-a i 10-b pokazana su klasična rješenja spoja boka i palube kod kojih se sponje palube oslanjaju na podspornjak pričvršćen uz rebra svornjacima. Kod ove konstrukcije treba obavezno osigurati dobru cirkulaciju zraka u uskom prostoru iza podspornjaka jer je to potencijalno pogodno mjesto za nastanak truleži.

Savijanje podspornjaka velikih dimenzija može se znatno olakšati lameliranjem *in situ* (Sl. 10-c i 5-d). Oplata boka i palube može biti izvedena dodirno Sl. 10-a ili višeslojno Sl. 10-d.

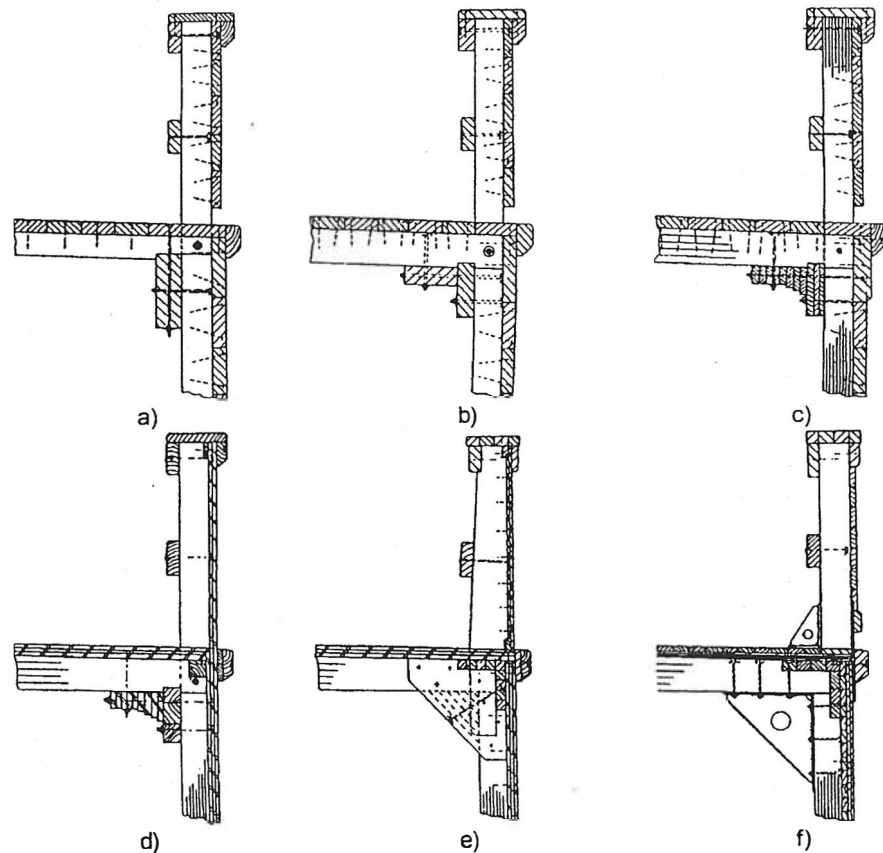


Slika 8.
Sklop kobilice i rebrenice • Keel and floor structure

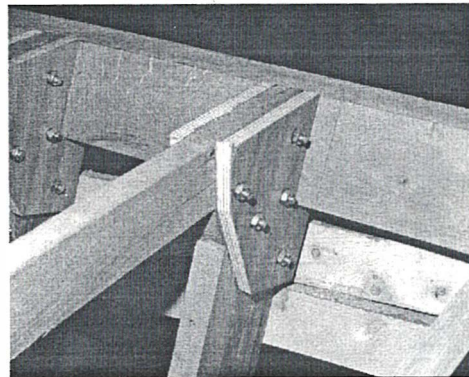


Slika 9.
Rebrenice od šperploče • Plywood floors

Slika 10.
Sklop spoja palube i boka • Deck and side structure



Slika 11.
Spoj sponje i rebra koljenom od šperploče • Deck beam and frame connected by plywood knee



Konstrukcija okvrimih rebara kod koje se podspornjak zamjenjuje provezom smještenom s vanjske strane rebara ispod oplate može se izvesti bilo koljenima od šperploče (vidi Sl. 10-e i Sl. 11.) bilo metalnim koljenima (vidi Sl. 10-f). Proveze na spoju boka i palube se mogu lamelinirati *in situ* što ukida prenošenje velikih teških elemenata i njihovu doradu.

8. ZAŠTITA I OBNOVA DRVA U BRODOGRADNJI
8. THE PROTECTION AND THE MAINTENANCE OF SHIPBUILDING WOOD

8.1. Preventivna zaštita drva za brodogradnju
8.1. The preventive protection of shipbuilding wood

Bez obzira na sva navedena svojstva koja mora posjedovati, svako se drvo nami-

jenjeno brodogradnji mora zaštititi. Zaštita u pravilu počinje samim odabirom vrste drva. Vrlo je bitna kvaliteta sastojine iz koje se uzima drvo, kao i vrijeme sječe. Stari Feničani i Grci smatrali su da sječu stabala treba obavljati za mladog mjeseca kada u drvu ima manje sokova. Vjerovali su da manjak sokova utječe na veću prirodnu trajnost, produljuje vijek trajanja i omogućuje bolja mehanička i fizička svojstva drva. Rimski klasici (Marcus Vitruvius Pollio i Plinije stariji) pisali su o prednostima zimske sječe. Naime, drvo zimske sječe postupno se suši u uvjetima nižih temperatura kad je napad insekata i gljiva truležnica slabiji ili ga gotovo nema. Drvo iz šume treba izvesti i dopremiti na mjesto prerade najkasnije do polovice ožujka.

U cilju preventivne zaštite drvo se može potapati i u more. Tako tvrdnja starih brodograditelja da drvo koje je potopljeno odležalo u morskoj vodi, ima povećanu trajnost i poboljšana mehanička svojstva ima osnova u fizikalnom zakonu difuzije. Naime, u sirovom drvu potopljenom u morsku vodu, miješaju se dvije tekućine različitih koncentracija (slana voda i otopina drvnih sokova) do trenutka izjednačenja koncentracija tih dvaju tekućina. Na taj način morska sol, koja je antiseptik prodire u drvo i ostaje u njemu vezana nakon procesa sušenja. Zato i ne čudi da se ta metoda potapanja još uvijek prak-

ticira u nekim našim brodogradilištima kao što su ona u Omišu i Vrbovskoj.

No, navedeni oblici preventivne zaštite na žalost nisu i jedina potrebna zaštita. U moru je drvo podložno i biološkoj razgradnji, a najčešći razarači drva u moru su tzv. marinski štetnici. Najopasniji morski štetnici su beskolutičavci koji pripadaju koljenu mekušaca (mollusca), potkoljenu Conchifera i porodicama Teredinidae i Bankinae. Manje opasni štetnici koji pripadaju istom koljenu mekušaca su oni iz porodice Pholadidae. U nas je najopsaniji brodski crv (*Teredo navalis*) ili «biša» kako ga zovu u Dalmaciji. Osim mekušaca, drvo najčešće površinski razgrađuju i mnogokolutičavci koji pripadaju koljenu člankonožaca (arthropoda), potkoljenu čeljusnika, prvoj skupini škrگاša, razredu rakova (crustacea). Ti račići, od kojih u našem Jadranskom moru živi samo porodica *Limnoria* (*Limnoria lignorum*), ne ubušuju se u drvo dublje od 10 mm.

8.2. Održavanje i zaštita drvenih brodova 8.2. The maintenance and the preservation of wooden ships

Nakon izvlačenja broda i čišćenja, natrulo i oštećeno drvo može se zaštititi epoksidnom smolom (npr. West 105-206), ali je u pravilu takvo drvo najbolje odstraniti i zamijeniti zdravim drvom. U postupku obnove drvenih brodica izrađenih od masivnog drva značajno mjesto zauzima brtvljenje sljubnica kudeljom na mjestu dodira platice ili platice i pramčanog nosača kobilice. Taj postupak koji se izvodi bez ljepila, ali uz prvotni tretman sljubnica i kudjelje lanenim uljem, zove se šuperanje, a u Dalmaciji kalafatanje. Od tuda potječe i naziv kalafati za graditelje drvenih brodova. Nakon kalafatanja pravilo je uvijek bilo da se preostali dijelovi sljubnica koji nisu bili zapunjeni kudeljom ispune kitom ili bitumenom. U novije se vrijeme u tu svrhu koriste sintetski kitovi i «tekuća» guma na bazi silikona.

Ličenje drvenih brodova bez obzira da li su izrađeni od masivnog drva ili vodootporne šperploče, vrši se nakon brušenja i kitanja na dobro očišćenu i pripremljenu površinu. Prvo se nanose dva sloja temeljnog naliča a potom međupremaz. Nakon brušenja nanose se dva sloja završnog premaza. Za podvodni dio trupa najčešća kemijska zaštita protiv algi i spomenutih marinskih štetnika

postiže se uljenim premazima tzv «mekanog tipa» koji u sebi sadrže aktivnu komponentu na bazi bakra, bakar oksida i bakrenih anorganskih soli (popularni «cooper paint»). Bolji i skuplji je tzv. «tvrđi premaz» («hard racing») u kojem je udjel krute tvari (smole) veći, a površina tvrđa i otpornija.

9. ZAKLJUČAK 9. CONCLUSION

Premda je drvo najstariji brodograđevni materijal ono je još uvijek primjenjivo u modernoj brodogradnji ribarskih, putničko/turističkih, kao i brodova za nautički turizam. Obnovljivost drva kao resursa, razvoj kvalitetnih ljepila te suvremenih konstruktivnih rješenja i tehnologija gradnje, proširuje privlačnost drva kao materijala za gradnju brodova i brodica. Posebno se to odnosi na naše prilike na Jadranu gdje još uvijek postoji znatan broj vještih majstora-brodograditelja kojima samo ponekad treba pomoći da prošire i moderniziraju svoje metode rada.

10. LITERATURA 10. REFERENCES

1. Bernardi, T. (1964): Konstrukcija drvenih brodova, Skripta Sveučilišta u Zagrebu.
2. Nicolson, I. (1995): Boat Data Book, Third Edition, Sheridan House Inc.
3. Wagenführ, R., Scheiber, Chr. (1974): Holzatlas, Leipzig, 1974.
4. *** European standard EN 350-2 (1994): Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood - Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe
5. *** Hrvatski registar brodova, Registar pomorskih brodova, Split, 2000.
6. *** Lloyd's Register of Shipping (May 1979): Rules and Regulations for the Classification of Yachts and Small Craft, Part 2, Chapter 4, Wood and Composite, London.
7. *** Pomorska enciklopedija (1972): Materijal za gradnju broda, Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb
8. *** Šumarska enciklopedija, I svezak, Drvo, Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb, 1980.
9. *** Šumskogospodarska osnova područja (1996) www.hrsume.hr
10. *** US Coast Guard (August 1995): Guidance on Inspection, Repair, and Maintenance of Wooden Hulls, NVIC 7-95