

# Primjena drva u izradi malih plovila

---

Baraka Gulin, Sara

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:638078>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-27**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ŠUMARSTA I DRVNE TEHNOLOGIJE  
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ DRVNE TEHNOLOGIJE**

**SARA BARAKA GULIN**

**PRIMJENA DRVA U IZRADI MALIH PLOVILA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE**  
**DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**PRIMJENA DRVA U IZRADI MALIH PLOVILA**

ZAVRŠNI RAD

|                        |                                    |
|------------------------|------------------------------------|
| Prijediplomski studij: | Drvena tehnologija                 |
| Predmet:               | Tehnička svojstva drva 2           |
| Mentor:                | izv. prof. dr. sc. Tomislav Sedlar |
| Student:               | Sara Baraka Gulin                  |
| JMBAG:                 | 0068236542                         |
| Datum odobrenja teme:  |                                    |
| Datum predaje rada:    |                                    |
| Datum obrane rada:     |                                    |

Zagreb, rujan 2024.

## Temeljna dokumentacijska kartica

|                      |   |
|----------------------|---|
| Naslov:              | Primjena drva u izradi malih plovila  |
| Autor:               | Sara Baraka Gulin   |
| JMBAG:               | 0068236542  |
| Mjesto izradbe:      | Zagreb  |
| Vrsta objave:        | Završni rad   |
| Mentor:              | izv. prof. dr. sc. Tomislav Sedlar  |
| Izradu rada pomogao: |   |
| Godina objave:       | 2024.   |
| Obujam:              | 35 stranica   |
| Ključne riječi:      | Drvo, brodogradnja, mala plovila, svojstva drva   |
| Sažetak:             | <p>Rad detaljno raspravlja primjenom drva u izgradnji malih plovila kao jednog od ključnih materijala u povijesti brodogradnje. Drvo je stoljećima bilo primarni materijal zbog svoje dostupnosti, čvrste strukture i sposobnosti da odoli izazovima okoliša. S druge strane, iako se danas sve češće koriste moderni materijali poput aluminijske, stakloplastike i čelika, drvo je i dalje korisno, osobito u izgradnji malih plovila. Iz tog razloga, pružen je detaljan opis svojstava različitih vrsta drva, uključujući hrast, tikovinu i cedar. Rad naglašava njihove fizičke i mehaničke prednosti, poput elastičnosti i zaštite od UV zračenja. Osim toga, ovo istraživanje opisuje na koji način moderni industrijski procesi, uključujući CNC obradu, lameliranje, vakuumska infuzija i epoksidne smole utječu na povećanje trajanja drvenih plovila i njihovu sposobnost da se odupru djelovanju po za drvo nepovoljnim klimatskim uvjetima. Na kraju, rad naglašava da drvo kao materijal i dalje nalazi primjenu u brodogradnji unatoč pojavi novih materijala i različitih tehnologija. Njegova ekološka i estetska svojstva čine ga vrlo atraktivnim. Uzimajući u obzir trendove s kojima se svijet suočava u pogledu degradacije okoliša, drvo predstavlja "zeleni" materijal koji može pomoći u očuvanju prirodnih resursa, a da pritom ne ugrozi upotrebu i ljepotu inovativnih rješenja u brodogradnji.</p> |

## Basic documentation card

|                        |   |
|------------------------|---|
| Title:                 | The use of wood in small vessel construction  |
| Author:                | Sara Baraka Gulin   |
| JMBAG:                 | 0068236542  |
| Thesis performed at:   | Zagreb  |
| Publication Type:      | Undergraduate thesis  |
| Supervisor:            | Assoc. prof. dr. sc. Tomislav Sedlar  |
| Preparation Assistant: |   |
| Publication year:      | 2024.   |
| Volume:                | 35 pages  |
| Key words:             | Wood, shipbuilding, small vessels, wood properties  |
| Abstract:              | <p>This paper provides an in-depth discussion on the application of wood in the construction of small vessels, highlighting its role as a key material throughout the history of shipbuilding. For centuries, wood has been a primary material due to its availability, robust structure, and ability to withstand environmental challenges. Despite the increasing use of modern materials such as aluminum, fiberglass, and steel, wood remains highly valuable, particularly in the construction of small vessels. The paper offers a detailed analysis of the properties of various types of wood, including oak, teak, and cedar, emphasizing their physical and mechanical advantages, such as elasticity and UV protection. Additionally, this research examines how modern industrial processes, including CNC machining, lamination, vacuum infusion, and epoxy resins, extend the lifespan of wooden vessels and enhance their ability to endure environmental conditions. In conclusion, the paper asserts that wood continues to find applications in shipbuilding despite the advent of new materials and technologies. Its ecological and aesthetic properties make it highly attractive. Given to the global trends in environmental degradation, wood represents a "green" material that can aid in preserving natural resources in contemporary shipbuilding practices, without compromising the functionality and beauty of innovative shipbuilding techniques.</p> |



# IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

OB FŠDT 05 07

Revizija: 2

Datum: 29.04.2021.

„Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 31. kolovoza 2024. godine

---

*vlastoručni potpis*

Sara Baraka Gulin

---

## SADRŽAJ

|  |     |
|--|-----|
| Temeljna dokumentacijska kartica .....                                 | III |
| Basic documentation card .....   | IV  |
| Izjava o akademskoj čestitosti .....                                   | V   |
| 1 UVOD .....   | 2   |
| 2 POVIJESNI ZNAČAJ DRVA U BRODOGRADNJI .....                           | 3   |
| 2.1 Razvoj drvene brodogradnje kroz stoljeća .....                     | 4   |
| 2.2 Tradicionalne tehnike obrade i gradnje plovila .....               | 5   |
| 2.3 Primjeri značajnih drvenih plovila kroz povijest .....             | 7   |
| 3 STRUKTURNA SVOJSTVA DRVA KAO MATERIJALA ZA GRADNJU PLOVILA .....     | 12  |
| 3.1 Vrste drva najčešće korištene u brodogradnji .....                 | 12  |
| 3.2 Fizička svojstva drva: gustoća, čvrstoća, elastičnost .....        | 13  |
| 3.3 Otpornost drva na okolišne utjecaje (voda, sol, UV zračenje) ..... | 17  |
| 4 PREDNOSTI FIZIČKIH I MEHANIČKIH SVOJSTAVA DRVA .....                 | 19  |
| 4.1 Prednosti drva u odnosu na moderne materijale .....                | 19  |
| 4.1.1 Drvo i staklo plastika .....                                     | 19  |
| 4.1.2 Drvo i aluminij .....  | 19  |
| 4.1.3 Drvo i čelik .....   | 20  |
| 4.2 Dugovječnost i održavanje drvenih plovila .....                    | 21  |
| 5 MODERNE TEHNOLOGIJE U PRIMJENI DRVA ZA IZRADU MALIH PLOVILA .....    | 23  |
| 5.1 CNC obrada drva .....  | 24  |
| 5.2 Epoksidne smole i kompoziti .....                                  | 26  |
| 5.3 Lameliranje drva .....   | 27  |
| 5.4 Vakuumska infuzija .....   | 28  |
| 5.5 3D modeliranje i CAD/CAM Softver .....                             | 30  |
| 6 EKOLOŠKA RAZMATRANJA KORIŠTENJA DRVA U BRODOGRADNJI .....            | 32  |
| 7 ZAKLJUČAK .....  | 34  |
| POPIS LITERATURE .....   | 35  |
| POPIS SLIKA .....  | 36  |

# 1 UVOD

Drvo je jedan od najstarijih materijala koji se koristi u brodogradnji, a njegova upotreba ima duboke korijene u ljudskoj povijesti. Iako su moderni materijali poput aluminija, čelika i kompozita preuzeli dominantnu ulogu u brodogradnji, drvo i dalje zauzima važno mjesto, osobito u izradi malih plovila. Ova istraživačka tema usmjerena je na proučavanje primjene drva u brodogradnji s posebnim naglaskom na izradu malih plovila. Cilj ovog rada je pružiti sveobuhvatan pregled raznih aspekata korištenja drva, uključujući njegove povijesne značajke, strukturne prednosti, fizikalno-mehanička svojstva, te ekološke i ekonomske aspekte. U svjetlu globalnih ekoloških izazova, važno je razumjeti zašto drvo i dalje ostaje poželjan materijal u brodogradnji te kako se njegove jedinstvene osobine mogu iskoristiti u budućnosti.

Drvo je oduvijek bilo ključni materijal u brodogradnji, pružajući ljudima sredstva za istraživanje, trgovinu, ratovanje i prijevoz. Povijesno gledano, drvo je omogućilo izgradnju mnogih znamenitih plovila koja su igrala ključne uloge u povijesti čovječanstva. Tradicionalna brodogradnja bila je oslonjena na drvo zbog njegove dostupnosti, relativno jednostavne obrade i iznimnih svojstava kao što su čvrstoća, izdržljivost i otpornost na vodu. Šume diljem svijeta, osobito u Europi i Aziji, bile su bogati izvori drva koje se koristilo za gradnju brodova svih veličina, od malih ribarskih brodova do velikih ratnih brodova. Drvo poput hrasta, bora i cedra bilo je cijenjeno zbog svojih svojstava koja su odgovarala različitim potrebama u brodogradnji. S razvojem industrijalizacije i pojavom novih materijala, upotreba drva u velikoj mjeri je smanjena, ali njegova povijesna uloga u izgradnji plovila ostaje neosporna.

Ovo istraživanje koristi kombinaciju povijesne analize, tehničke evaluacije i ekoloških razmatranja kako bi se osigurao sveobuhvatan pregled primjene drva u izradi malih plovila. Metodološki pristup uključuje pregled relevantne literature i tehničke studije koje se bave svojstvima drva kao građevinskog materijala. U povijesnom dijelu rada, istražit će se razvoj drvene brodogradnje kroz stoljeća, uključujući ključne inovacije i tehnike koje su omogućile napredak u ovoj industriji. Tehnička evaluacija fokusirat će se na fizikalna i mehanička svojstva drva, uključujući čvrstoću, elastičnost i otpornost na okolišne faktore poput vlage i UV zračenja. Također, posebna pažnja bit će posvećena suvremenim tehnologijama koje omogućuju produženje vijeka trajanja drvenih plovila, poput upotrebe epoksidnih smola i kombinacije drva s kompozitnim materijalima. U ekološkom dijelu rada, analizirat će se održivost drva kao građevinskog materijala, uključujući aspekte kao što su obnovljivost resursa, energetska učinkovitost u proizvodnji i obradi, te utjecaj na okoliš u usporedbi s drugim materijalima koji se koriste u brodogradnji. Kroz ovu metodologiju, rad će ponuditi cjelovit pregled prednosti i izazova korištenja drva u suvremenoj brodogradnji, s posebnim naglaskom na njegovu primjenu u izradi malih plovila.



## 2 POVIJESNI ZNAČAJ DRVA U BRODOGRADNJI

### 2.1 Razvoj drvene brodogradnje kroz stoljeća

Drvo je kao građevinski materijal imalo ključnu ulogu u razvoju brodogradnje kroz stoljeća, od ranih primitivnih plovila do složenih jedrenjaka koji su omogućili europska osvajanja i globalnu trgovinu. Njegova primjena u brodogradnji odražava se na napredak civilizacija i tehnologija, a povijest drvene brodogradnje pruža uvid u evoluciju ljudske sposobnosti za osvajanje mora.

Prvi zabilježeni primjerci drvenih plovila datiraju iz neolitičkog razdoblja, oko 6000 godina prije Krista, kada su ljudi počeli izrađivati jednostavne čamce izdubljene iz jednog debla, poznate kao monoksili. Ova primitivna plovila bila su korištena za lov i ribolov na rijekama i jezerima, a njihova jednostavna konstrukcija omogućavala je relativno siguran prijelaz preko vodenih površina. Razvoj drvene brodogradnje nastavio se u civilizacijama poput Egipta i Mezopotamije, gdje su već u 3. tisućljeću prije Krista nastajali složeniji brodovi. Egipćani su, na primjer, koristili vrste drva poput cedra u gradnji svojih prvih riječnih brodova, koji su služili za prijevoz robe i vojnika po Nilu. Jedan od najpoznatijih primjera egipatske brodogradnje je brod faraona Khufua iz 26. stoljeća prije Krista, pronađen pokraj Velike piramide u Gizi. Ovaj brod, dug preko 40 metara, pokazuje visoku razinu umijeća u obradi drva i složene tehnike spajanja drvenih dijelova bez upotrebe čavala, već uz korištenje užadi i klinova.

U razdoblju od 8. stoljeća prije Krista do 5. stoljeća nakon Krista, grčka i rimska civilizacija donose daljnji napredak u drvenoj brodogradnji. Grci su razvili trijere, ratne brodove s tri reda veslača, koji su bili ključni u pomorskim bitkama tog vremena. Ovi brodovi, izrađeni od hrasta, bora i drugih vrsta drva, pokazivali su izuzetnu otpornost i agilnost na moru. Rimljani su pak izgradili moćnu mornaricu koristeći slične tehnike, no dodatno su unaprijedili konstrukciju brodova uvođenjem metalnih spojnica i katranskih premaza koji su povećavali izdržljivost drvenih brodova na dugim plovidbama. Drveni brodovi tog vremena, poput rimskih galija, omogućili su Rimu da dominira Mediteranom i kontrolira trgovačke rute, čime je osigurao svoj politički i ekonomski utjecaj (Cigula, 2020).

Tijekom srednjeg vijeka, od 5. do 15. stoljeća, brodogradnja u Europi se nastavila razvijati, prilagođavajući se potrebama trgovine, ratovanja i istraživanja. U ranom srednjem vijeku, Vikinzi su izgradili duguljaste brodove, poznate kao drakari, koji su im omogućili plovidbu preko Atlantskog oceana i napade na obale Europe. Ovi brodovi bili su izrađeni od hrastovine i pokazivali su iznimnu plovnost i stabilnost na otvorenom moru. S dolaskom renesanse u 15. i 16. stoljeću, dolazi do vrhunca drvene brodogradnje u Europi. Drveni brodovi poput portugalskih karavela i španjolskih galiona omogućili su velike geografske ekspedicije i otkrića. Karavele su bile lagani, brzo pokretni brodovi,

izrađeni od hrastovine, koji su omogućili istraživanje Afrike i otkriće pomorskog puta do Indije. Španjolski galioni, veći i čvršći brodovi, korišteni su za prijevoz velikih količina srebra i zlata iz Novog svijeta natrag u Europu.

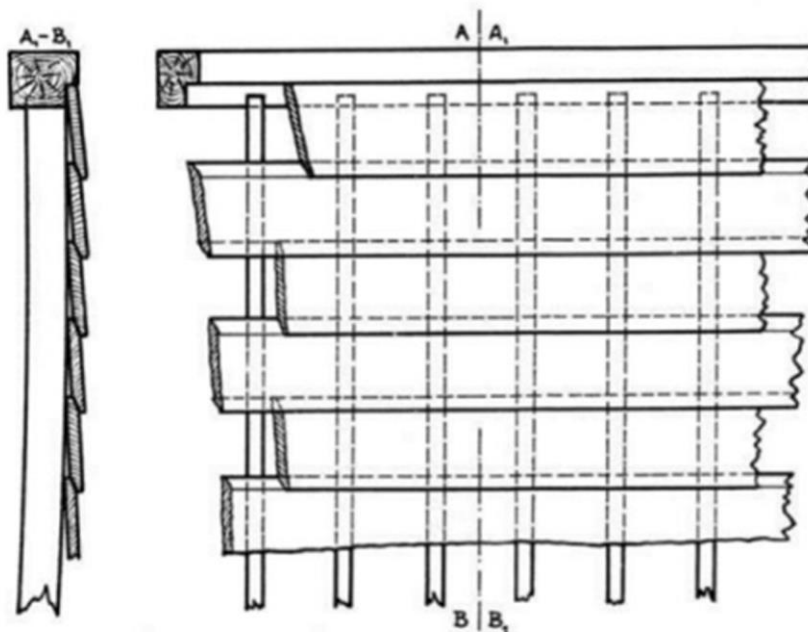
S dolaskom industrijske revolucije krajem 18. stoljeća, drvo postupno gubi primat u brodogradnji pred čelikom i parnim pogonima. Međutim, drvo i dalje ostaje ključan materijal za izradu manjih brodova, ribarskih plovila i luksuznih jahti. Tradicionalne tehnike brodogradnje prenose se generacijama, dok se istovremeno razvijaju nove metode obrade i zaštite drva, poput impregnacije i upotrebe epoksidnih smola, čime se povećava trajnost i otpornost drvenih brodova na vremenske uvjete (Markovina, 2011).

## 2.2 Tradicionalne tehnike obrade i gradnje plovila

Tradicionalne tehnike obrade i gradnje drvenih plovila razvijale su se kroz stoljeća, prilagođavajući se dostupnim materijalima, specifičnostima lokalnih sredina i potrebama različitih civilizacija. Unatoč razvoju suvremenih tehnologija i novih materijala, mnoge od ovih tehnika opstale su do danas, čuvajući bogatu maritimnu baštinu i služeći kao inspiracija za suvremene brodograditelje.

Prva faza u izradi drvenog plovila je odabir i obrada drva. U prošlosti su brodograditelji pažljivo birali vrste drva koje su bile najprikladnije za određeni tip broda. Hrast, bor, cedar i ariš često su bili prvi izbor zbog svojih mehaničkih svojstava, trajnosti i otpornosti na vlagu. Hrast, zbog svoje čvrstoće i otpornosti na propadanje, bio je omiljeni materijal za gradnju korita brodova, dok su se mekša drva, poput bora, koristila za unutarnje konstrukcije i jarbole. Nakon odabira odgovarajućeg drva, slijedila je faza obrade. Drvo se ručno tesalo ili rezalo u potrebne oblike, a proces su često pratili dugotrajni postupci sušenja, kako bi se spriječilo kasnije pucanje ili deformacija. Sušenje je moglo trajati mjesecima, a ponekad i godinama, ovisno o veličini i vrsti drva. Tradicionalni načini sušenja uključivali su prirodno sušenje na zraku ili kontrolirano sušenje u zatvorenim prostorima (Markovina, 2011).

Jedna od najpoznatijih tradicionalnih tehnika gradnje plovila je tehnika preklapanja dasaka (eng. clinker), koja se koristila u nordijskim zemljama, ali i drugdje. Ova tehnika (Slika 1) uključuje postavljanje drvenih dasaka tako da se preklapaju jedna preko druge, tvoreći laganu, ali čvrstu konstrukciju. Drakari, dugački brodovi Vikinzi, bili su građeni ovom tehnikom, što im je davalo izuzetnu stabilnost i fleksibilnost na otvorenom moru. Suprotno ovoj tehnici, u mediteranskom i atlantskom području dominirala je tehnika ravnih spojenih dasaka (eng. carvel), koja je omogućavala izgradnju većih brodova s glatkom vanjskom površinom trupa. Daske su se spajale rub uz rub, a zatim su se spojevi brtvili smolom ili katranom kako bi se spriječilo prodiranje vode. Ova metoda bila je osnova za gradnju velikih jedrenjaka i trgovačkih brodova tijekom renesanse i ranog novog vijeka.



Slika 1.- Primjer tehnike preklapanjadasaka.

Izvor: Grubišić, I., 2005.

Spojevi su igrali ključnu ulogu u čvrstoći i izdržljivosti plovila. Tradicionalne tehnike uključivale su korištenje drvenih klinova, žljebova, lastinih repova i zubaca, koji su omogućavali spajanje drvenih dijelova bez upotrebe čavala ili metalnih spojnica. Ove tehnike zahtijevale su visoku preciznost i vještinu, jer je svaki spoj morao biti savršeno izveden kako bi osigurao čvrstoću konstrukcije i otpornost na udarce valova. U mediteranskoj tradiciji, korištenje katrana i smole (Slika 2.) za brtvljenje spojeva bilo je ključno za očuvanje brodova. Drvo je bilo premazivano ovim prirodnim smolama kako bi se zaštitilo od propadanja, osigurao vodootporni spoj i povećala trajnost plovila na dugim plovidbama.



Slika 2- Starinski plamenik tzv.

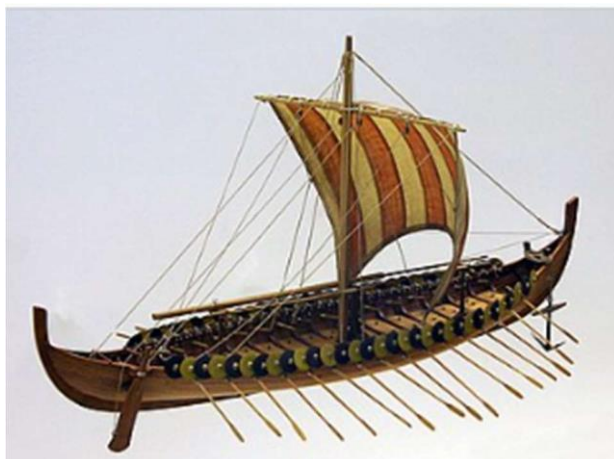
Letlampa. Izvor: Muzej betinske drvene brodogradnje, n.d.

Završna faza izgradnje uključivala je dodavanje jarbola, kormila, jaružnog platna i unutarnjih struktura kao što su kabine i skladišni prostori. Drvene površine često su bile dodatno obrađene i premazane smolama, lakovima ili bojama kako bi se zaštitile od utjecaja soli, sunca i vlage. Ornamentika i ukrasi često su odražavali kulturne i regionalne specifičnosti te društveni status vlasnika broda (Cigula, 2020).

### 2.3 Primjeri značajnih drvenih plovila kroz povijest

Drvena plovila kroz povijest nisu bila samo sredstva za prijevoz i trgovinu, već i simboli moći, tehnološkog napretka i kulturne baštine različitih civilizacija. Ova plovila, svaki sa svojim jedinstvenim karakteristikama, ostavila su neizbrisiv trag u povijesti pomorstva. U ovom dijelu ćemo se osvrnuti na nekoliko značajnih drvenih brodova koji su oblikovali maritimnu povijest i pružiti pregled njihovih posebnosti, konstrukcija i povijesnog značaja.

Drakkar (Slika 3.), poznat i kao vikinški ratni brod, bio je jedan od najimpresivnijih primjeraka brodogradnje u Sjevernoj Europi tijekom ranog srednjeg vijeka. Ovi brodovi, građeni u 9. stoljeću, bili su simboli vikinške pomorske dominacije. Drakkar je bio dug, uzak brod s plitkim gazom, što je omogućavalo brzu plovidbu po otvorenom moru, ali i po rijekama. Tehnika preklapanja dasaka korištena je u izgradnji drakkara, što mu je davalo fleksibilnost i otpornost na valove. Osim toga, bio je opremljen s jednim velikim četvrtastim jedrom i veslima, omogućavajući brzu promjenu smjera i brzine. Drakkarari su se razlikovali od ostalih brodova tog vremena po svojoj iznimnoj brzini, manevarskim sposobnostima i ornamentiranim pramcem, često ukrašenim zmajevim glavama koje su trebale zastrašiti neprijatelje (Pomorac.hr, 2016).



Slika 3.- Drakkar

Izvor: Pomorac.hr, 2016., <https://pomorac.hr/2016/11/28/vikinzi-i-njihovo-umijece-gradnje-brodova/>

Santa Maria (Slika 4.), brod Kristofora Kolumba, jedno je od najpoznatijih drvenih plovila u povijesti. Ovaj brod bio je ključan za Kolumbovo otkriće Amerike 1492. godine. Santa Maria bila je karaka, vrsta trgovačkog broda popularnog u 15. stoljeću, poznata po svojoj stabilnosti i kapacitetu za prijevoz velikih tereta. S dužinom od oko 19 metara, Santa Maria bila je najveći od tri broda u Kolumbovoj floti, ali je bila relativno spora i nezgrapna u usporedbi s manjim karavelama, Pinta i Niña. Dok su karake bile poznate po svojoj otpornosti na duga putovanja, Santa Maria nije preživjela Kolumbovu prvu ekspediciju – nasukala se na obalu Haitija i uništena je (Gorgonija.com, 2021).



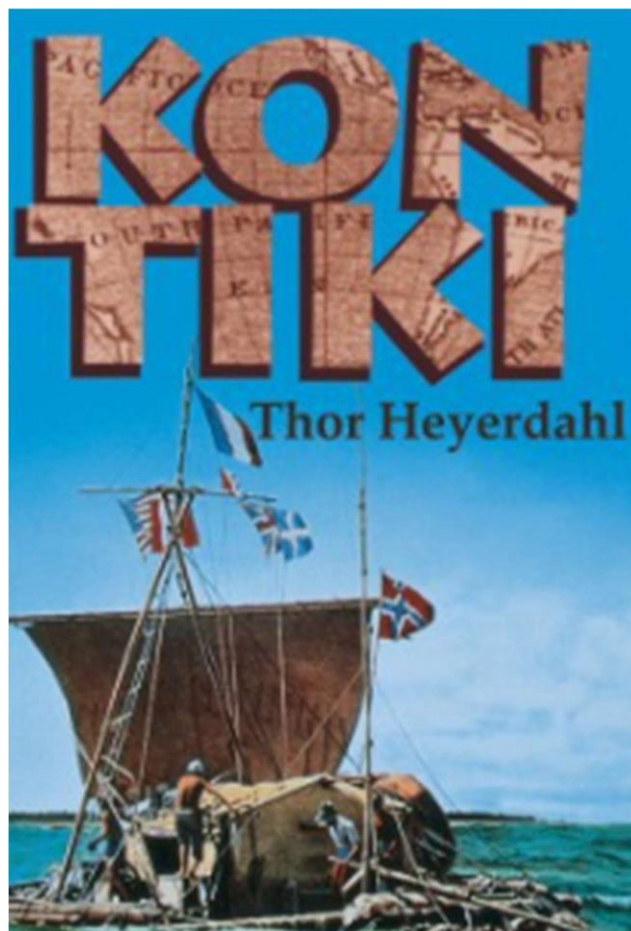
Slika 4- Santa Maria, La Nina i La Pinta

Izvor: Gorgonija.com, 2021., <https://gorgonija.com/2021/11/05/columbovi-brodovi/>

HMS Victory, britanski ratni brod izgrađen 1765. godine, jedan je od najslavnijih brodova u povijesti zbog svoje ključne uloge u Bitci kod Trafalgara 1805. godine. Victory je bio linijski brod prve klase s tri palube, naoružan s 104 topa. Izgradnja broda trajala je šest godina, a drvo korišteno u njegovoj konstrukciji uključivalo je tisuće hrastovih stabala. Victory je bio izuzetno čvrst i stabilan brod, osmišljen za dugotrajne bitke na otvorenom moru. Njegova konstrukcija omogućavala je smještaj velikog broja mornara i topova, a brod je bio poznat po svojoj iznimnoj vatrenoj moći. Victory se razlikovao od drugih ratnih brodova tog vremena po svojoj veličini, broju topova i ulozi u povijesnim pomorskim bitkama.

USS Constitution, poznata i kao "Old Ironsides", američka je fregata izgrađena 1797. godine. Ovaj brod, jedan od najstarijih sačuvanih ratnih brodova na svijetu, izgrađen je od hrasta, s vrlo debelim trupom koji je mogao izdržati topovske udare. USS Constitution postao je simbolom američke pomorske snage tijekom Ratova 1812. godine, kada je u više navrata porazio britanske ratne brodove. Brod je bio izuzetno brz i pokretljiv zahvaljujući svojoj konstrukciji i velikoj površini jedara. Njegova konstrukcija razlikovala se od europskih brodova po upotrebi živopisnog hrasta, koji je pružao dodatnu otpornost na vatru i udarce.

Kon-Tiki (Slika 5.) je splav koju je norveški istraživač Thor Heyerdahl koristio 1947. godine kako bi dokazao da je moguće da su drevni narodi Južne Amerike mogli naseliti Polineziju putujući preko Tihog oceana. Splav je bila izgrađena od balzovog drva, korištenog zbog svoje plutajuće sposobnosti, te je imala jedra izrađena od tkanine. Kon-Tiki je bila jednostavna konstrukcija koja je oslanjala na prirodne materijale i vještine navigacije koristeći struje i vjetrove. Heyerdahlov podvig s Kon-Tikijem bio je značajan jer je pokazao mogućnosti tradicionalnih tehnika gradnje plovila i navigacije koje su bile praktički nepromijenjene tisućama godina (Heyerdahl, 1947).



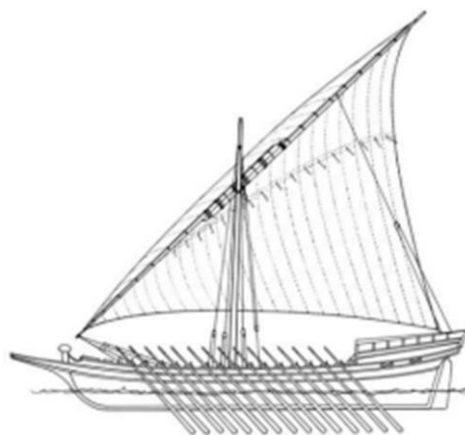
Slika 5- Kon- Tiki

Izvor: Heyerdahl, T., 1947., Ekspedicija Kon- Tiki

Dubrovačka Republika, kao jedina slobodna hrvatska teritorijalna enklava, koja je kroz stoljeća ostvarivala značajna bogatstva kroz pomorsku i kopnenu trgovinu, nije usmjeravala svoje resurse prema izgradnji velikih ratnih brodova. Umjesto toga, Dubrovčani su ostali vjerni svojoj tradiciji oslanjanja na manje brodove, više usmjerenih na obranu nego na napad. Tokom 17. i 18. stoljeća, uz trgovačke brodove koji su bili stacionirani u gradskim lukama, uključujući Gruž, Dubrovčani su imali i nekoliko manjih plovila, poput galijica i filjuga, koje su služile raznim svrhama, osim ratnim. Galijice (Slika 6.), koje su bile manje brodice, Dubrovčani su prvenstveno koristili za kurirske zadatke, prijevoz diplomatskih predstavnika, visoke državne službenike, sanitetske koridore u vrijeme kuge ili drugih zaraznih bolesti, te kao poštanske i policijske brodove. Tek na posljednjem mjestu su imale i ratnu funkciju (Salamon, n.d.).

Zanimljivo je da Dubrovčani nisu posjedovali vještine za izgradnju galijica, zbog čega su iz Napulja doveli stručnog brodograditelja uz pomoć svog veleposlanika Vice

Bune. No, ovaj stručnjak nije gradio klasične ratne galijice, već ih je prilagodio specifičnim potrebama Dubrovčana. Osnovne karakteristike broda su ostale iste: jedan jarbol, veliko latinsko jedro, te osnovni gabariti. Dubrovačke galijice bile su obično duge oko 17,1 metar, široke 4,1 metar, s visinom od 1,98 metara na srednjem rebru. Imale su 15 pari vesala i 30 veslačkih klupa, s kormilom na krmi i osnovnom opremom tipičnom za ovu vrstu broda. Međutim, Dubrovčani su rijetko posjedovali više od jedne ili dvije ovakve galijice istovremeno (Markovina, 2011).



Slika 6- Galijica

Izvor: Markovina, R., 2011., *Tradicionalna tehnologija gradnje korčulanske barke*

### **3 STRUKTURNA SVOJSTVA DRVA KAO MATERIJALA ZA GRADNJU PLOVILA**

#### **3.1 Vrste drva najčešće korištene u brodogradnji**

Drvo je kroz povijest bilo jedan od najvažnijih materijala za gradnju plovila zahvaljujući svojim izuzetnim strukturnim svojstvima, prilagodljivosti i dostupnosti. Različite vrste drva nude različite mehaničke i fizičke karakteristike, koje su ih učinile pogodnim za specifične dijelove brodova i različite primjene unutar brodogradnje. U ovom dijelu, detaljno ćemo razmotriti najčešće vrste drva korištene u brodogradnji, uz analizu njihovih svojstava koja ih čine prikladnim za ovu namjenu.

Hrast je povijesno jedna od najcjenjenijih vrsta drva u brodogradnji, poznat po svojoj izuzetnoj tvrdoći, gustoći i otpornosti na truljenje. Hrastova drva imaju gustu i čvrstu



strukturu, što ih čini iznimno izdržljivima i otpornima na udarce i habanje, osobine koje su ključne za gradnju brodskih trupova i okvirnih konstrukcija. Njegova prirodna otpornost na vlagu i biološko propadanje (zbog visokog sadržaja tanina) čini ga idealnim materijalom za dijelove broda koji su izloženi stalnom kontaktu s vodom. Hrast je također poznat po svojoj sposobnosti da zadrži čavle i klinove bez lomljenja, što je važno za povezivanje dijelova broda. Tradicionalno, hrast je bio glavna vrsta drva korištena za izgradnju ratnih brodova i trgovačkih brodova u Europi, uključujući i poznati britanski brod HMS Victory.

Tikovina je tropsko drvo porijeklom iz jugoistočne Azije, poznata po svojoj izvanrednoj otpornosti na truljenje, insekte i vremenske uvjete, što ju čini jednom od najcjenjenijih vrsta drva u brodogradnji, posebno za palube i vanjske dijelove brodova. Tikovina sadrži prirodne ulja koja pružaju otpornost na vodu i sprječavaju propadanje, čak i u ekstremnim uvjetima slane morske vode. Osim toga, tikovina ima izuzetno stabilnu strukturu, s minimalnim skupljanjem i bubrenjem pod promjenama vlažnosti, što je ključno za održavanje integriteta plovila tijekom dugotrajne upotrebe. Njena glatka tekstura i bogata zlatnosmeđa boja također doprinose estetskoj privlačnosti, čineći je popularnim izborom za luksuzne jahte i brodove (Cigula, 2020).

Jela i smreka su vrste drva koje se često koriste u brodogradnji zbog svoje relativno male težine, ali solidne čvrstoće, što ih čini pogodnima za konstrukcijske elemente kao što su jarboli, gredi i rebra. Smreka je poznata po svojoj elastičnosti i lakoći obrade, što omogućuje oblikovanje zakrivljenih dijelova broda bez gubitka čvrstoće. Drvo smreke također ima dobar omjer čvrstoće i težine, što je ključno za smanjenje ukupne mase broda bez žrtvovanja strukturne stabilnosti. Jela i smreka također imaju relativno nisku cijenu i široku dostupnost, što ih čini ekonomičnim izborom za brodogradnju.

Cedar, posebno crveni cedar (Western Red Cedar - *Thuja plicata*), široko je korišten u brodogradnji zbog svoje izvanredne otpornosti na vlagu, insekte i propadanje. Cedar je lagano drvo s prirodnim uljima koja djeluju kao konzervansi, čineći ga idealnim za izgradnju brodskih oplata i unutarnjih dijelova. Njegova lagana struktura također olakšava rad s ovim drvom, dok njegova stabilnost smanjuje rizik od pucanja ili deformacija tijekom vremena. Cedar je popularan u izgradnji manjih plovila, kao što su kanui i jedrilice, gdje su potrebne kombinacije laganog materijala i otpornosti na vodu (Vuljanić, 2022).

Mahagonij je egzotična vrsta drva koja se često koristi u brodogradnji zbog svoje izuzetne ljepote i trajnosti. Njegova tamna crvenkasto-smeđa boja i fine žilice čine ga estetski privlačnim izborom za unutarnje i vanjske dijelove plovila. Mahagonij također ima dobru otpornost na vlagu i truljenje, a njegova relativno visoka gustoća pruža izvrsnu čvrstoću i stabilnost. Zbog svojih svojstava, mahagonij se često koristi u izradi luksuznih plovila i detalja na brodovima, poput ukrasnih elemenata i obloga.

Bagrem je još jedna vrsta drva poznata po svojoj čvrstoći i otpornosti na vremenske uvjete. Iako se rjeđe koristi od drugih spomenutih vrsta, bagrem je iznimno otporno drvo, često korišteno za izradu dijelova koji su izloženi velikim opterećenjima i abraziji,

poput vesala i okova. Njegova sposobnost da izdrži vanjske uvjete bez značajnog propadanja čini ga vrijednim dodatkom u arsenalu brodograđevinskih materijala (Deranja, 2014).

### 3.2 Fizička svojstva drva: gustoća, čvrstoća, elastičnost

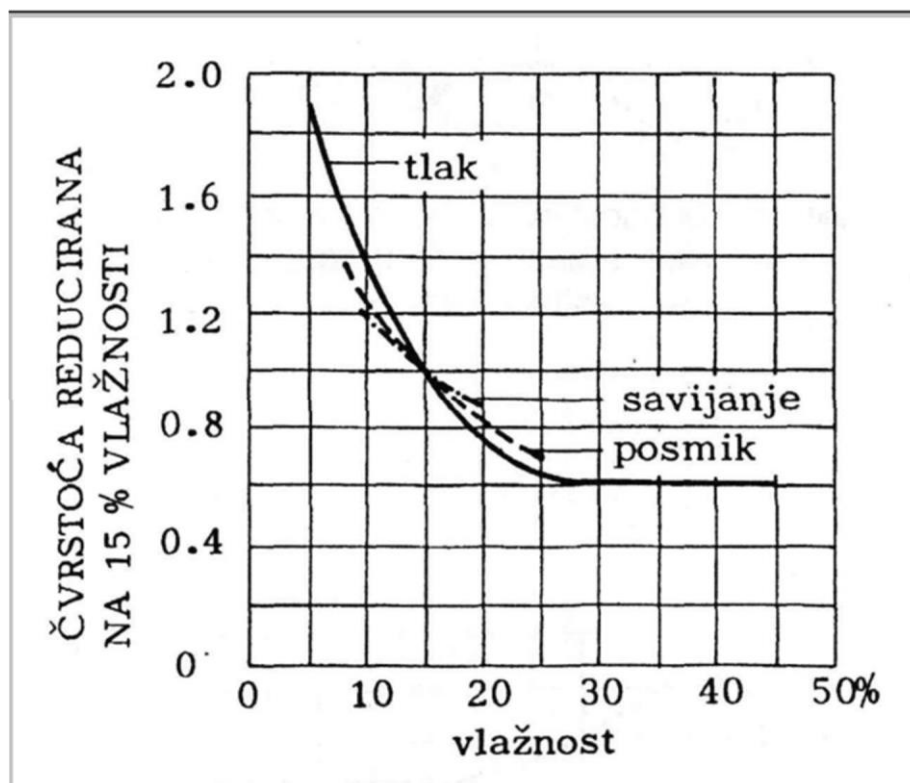
Gustoća drva odnosi se na masu po jedinici volumena, obično izraženu u kilogramima po kubnom metru ( $\text{kg/m}^3$ ). Ona je jedno od najvažnijih svojstava jer direktno utječe na sve ostale mehaničke osobine drva, kao i na njegovu otpornost na vanjske utjecaje, poput vlage i truljenja. Gustoća varira između različitih vrsta drva, ali i unutar iste vrste, ovisno o uvjetima rasta, starosti stabla, dijelu stabla iz kojeg je drvo uzeto i drugim čimbenicima. Na primjer, hrast ima visoku gustoću, koja se obično kreće između 650 i 900  $\text{kg/m}^3$ , što ga čini izuzetno izdržljivim i otpornim na fizičke udare. S druge strane, vrste drva poput cedra imaju relativno nisku gustoću, obično oko 350 do 450  $\text{kg/m}^3$ , što ih čini lakšima i lakše obradivima, ali također smanjuje njihovu otpornost na mehanička opterećenja. Tikovina, s gustoćom između 600 i 750  $\text{kg/m}^3$ , kombinira otpornost i umjerenu težinu, čineći je idealnim izborom za palube brodova. Gustoća također utječe na sposobnost drva da pluta, što je ključno za određivanje stabilnosti plovila na vodi. Veća gustoća obično znači manju plovnost, ali veću stabilnost i otpornost na vanjske utjecaje, dok manja gustoća može pružiti veću plovnost, ali uz kompromis u pogledu čvrstoće i trajnosti (Jiruoš- Rajković, Turkulin i Živković, n.d.).

Čvrstoća drva odnosi se na njegovu sposobnost da izdrži sile koje ga nastoje saviti, zgnječiti, ili slomiti. To je ključna osobina koja određuje koliko je drvo otporno na mehanička opterećenja, što je posebno važno za konstrukcijske dijelove brodova, poput okvira, rebara, i oplata. Čvrstoća drva također varira između vrsta, ali i ovisno o smjeru opterećenja - drvo je obično jače u smjeru vlakana nego u poprečnom smjeru. Hrast, zbog svoje visoke gustoće i unutarnje strukture, ima visoku čvrstoću na savijanje i pritisak. To ga čini pogodnim za dijelove brodova koji su izloženi velikim mehaničkim opterećenjima. Na primjer, čvrstoća na savijanje hrasta može doseći vrijednosti od 90 do 110 MPa, što je znatno više nego kod manje gustih vrsta drva poput bora ili smreke. Tikovina, iako nešto manje čvrsta od hrasta, zadržava visoku čvrstoću na pritisak, što je čini otpornom na savijanje pod opterećenjem. Njena čvrstoća na savijanje kreće se između 60 i 80 MPa, ali je iznimno otporna na uvjete okoliša, što nadoknađuje njenu relativno nižu čvrstoću u odnosu na hrast.

Slika 7. prikazuje grafički prikaz ovisnosti čvrstoće drva o postotku vlage, reducirane na 15% sadržaja vode. Na vertikalnoj osi prikazana je čvrstoća, dok horizontalna os prikazuje postotak vlage u drvu. Prema grafu, čvrstoća drva opada s porastom sadržaja vode, što je prikazano padom krivulje kako se postotak vlage

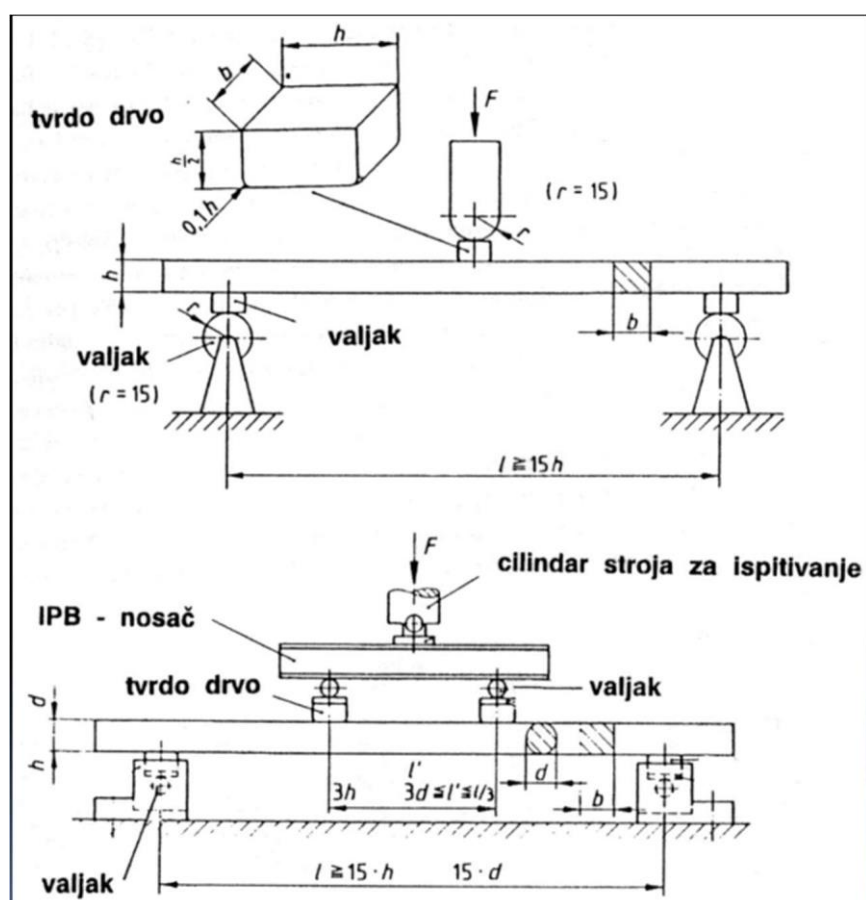
povećava. Ovo je posebno izraženo u slučaju savijanja, gdje čvrstoća značajno opada s povećanjem vlažnosti. Kao što je ranije spomenuto u tekstu, drvo je higroskopan materijal, što znači da upija ili otpušta vlagu iz okoliša, ovisno o uvjetima u kojima se nalazi. Higroskopna svojstva drva izravno utječu na njegova mehanička svojstva, uključujući čvrstoću. Ovaj graf jasno pokazuje da povećanje vlage značajno smanjuje čvrstoću drva, posebice na tlačne i posmične sile. Na primjer, čvrstoća na tlak paralelno s vlaknima može se smanjiti za čak 3-4 puta pri povećanju vlažnosti s 5% na 30%, što ukazuje na krucijalnu važnost kontroliranja vlage u drvu, posebno u primjenama kao što je brodogradnja. Ovaj fenomen može biti objašnjen strukturnim promjenama u drvenim vlaknima koja se događaju kako drvo upija vodu. Voda uzrokuje nabubrenje stanica drva, što omekšava vlakna i čini ih podložnijima deformacijama. Također, voda može razbiti vodikove veze unutar molekularne strukture drva, dodatno smanjujući njegovu mehaničku otpornost.

U kontekstu brodogradnje, gdje drvo može biti izloženo promjenjivim uvjetima vlage, važno je odabrati vrste drva koje pokazuju visoku otpornost na vlagu ili primijeniti odgovarajuće tretmane za zaštitu drva. Tretmani poput impregnacije, lakiranja ili korištenja drva s prirodno visokim sadržajem ulja, kao što je tikovina, mogu pomoći u očuvanju čvrstoće i produženju životnog vijeka plovila (Rajčić, 2016).



Slika 7- Ovisnost čvrstoće drva na 15% vlažnosti u odnosu na postotak vlažnosti Izvor: Rajčić, V., 2016.

Na slici 8 prikazana je shema opterećenja i izgled uzorka za ispitivanje čvrstoće drva na savijanje. Na gornjem dijelu slike prikazan je osnovni dijagram ispitivanja čvrstoće na savijanje. Uzorak drva postavljen je na dva valjka koji služe kao oslonci. Na sredini uzorka primjenjuje se sila  $F$  koja djeluje prema dolje, uzrokujući savijanje drva. Dimenzije uzorka uključuju širinu  $b$ , visinu  $h$ , te duljinu  $l$ . Valjci su postavljeni na određenoj udaljenosti kako bi se osiguralo ravnomjerno raspoređivanje opterećenja. Na donjem dijelu slike prikazana je detaljnija konfiguracija za ispitivanje čvrstoće drva na savijanje, uključujući dodatne elemente kao što su IPB nosač i cilindar stroja za ispitivanje, koji se koristi za primjenu sile  $F$ . Ovdje je također prikazano kako se uzorak drva učvršćuje na valjke, te kako se mjeri deformacija uslijed primijenjene sile (Rajčić, 2016).



Slika 8- Izgled uzorka i shema opterećenja za ispitivanje čvrstoće na savijanje Izvor:

[https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/Svojstva\\_drva\\_2014%5B2%5D%5B1%5D.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Svojstva_drva_2014%5B2%5D%5B1%5D.pdf)

Elastičnost drva odnosi se na njegovu sposobnost da se deformira pod opterećenjem i vrati u svoj izvorni oblik nakon uklanjanja opterećenja. Ovo svojstvo je izrazito važno

za komponente brodova koje su izložene promjenjivim opterećenjima, poput jarbola, rebara, i oplata. Elastičnost se mjeri modulom elastičnosti, također poznatim kao Youngov modul, koji predstavlja omjer naprezanja i deformacije u elastičnoj fazi materijala. Drvo s visokim modulom elastičnosti, poput hrasta, može izdržati značajna opterećenja bez trajne deformacije, što ga čini idealnim za strukture koje moraju održavati svoj oblik i funkcionalnost pod stalnim ili promjenjivim opterećenjima. Youngov modul za hrast kreće se od 9.000 do 12.000 MPa, dok tikovina ima nešto niži modul elastičnosti, oko 8.000 do 10.000 MPa. Međutim, drvo poput smreke, koje ima niži modul elastičnosti (oko 7.000 do 9.000 MPa), može biti poželjno u situacijama gdje je potrebna veća savitljivost i prilagodljivost, kao što su zakrivljeni dijelovi brodova ili jarboli. Elastičnost omogućuje drvu da se savija i prilagođava, a da pritom ne pukne, što je ključno za održavanje integriteta plovila tijekom plovidbe (Rajčić, 2016).

### 3.3 Otpornost drva na okolišne utjecaje (voda, sol, UV zračenje)

Jedno od glavnih svojstava drva koje se razmatra pri izgradnji plovila je njegova otpornost na vodu. Voda je jedan od glavnih uzroka propadanja drva, posebno ako je drvo stalno izloženo vodi bez odgovarajuće zaštite. Drvo koje apsorbira vodu može nabubriti, postati mekano, izgubiti na čvrstoći i postati podložno truljenju. Neke vrste drva, poput tikovine i hrasta, poznate su po svojoj prirodnoj otpornosti na vodu. Tikovina, na primjer, ima visok sadržaj prirodnih ulja i smola, što je čini izuzetno otpornom na vlagu. Ova ulja djeluju kao prirodni zaštitni sloj, sprječavajući prekomjerno upijanje vode. Tikovina se često koristi za palube brodova zbog svoje sposobnosti da izdrži stalnu izloženost vodi bez značajnih promjena u dimenzijama ili strukturi.

S druge strane, vrste drva s manje prirodnih ulja, poput bora ili smreke, manje su otporne na vodu i zahtijevaju dodatnu zaštitu u obliku premazivanja zaštitnim slojevima poput lakova, ulja ili epoksidnih smola. Ovi premazi stvaraju barijeru između drva i vode, smanjujući apsorpciju vlage i rizik od truljenja.

Slana voda predstavlja poseban izazov za drvo zbog svoje sposobnosti da ubrza procese korozije i truljenja. Sol prodire u strukturu drva i može uzrokovati kemijske promjene koje oslabljuju vlakna drva, čineći ga osjetljivijim na truljenje. Također, sol može uzrokovati kristalizaciju unutar drva, što dovodi do pukotina i oštećenja. Tikovina je opet jedna od najotpornijih vrsta drva kada je riječ o izloženosti slanoj vodi. Zbog svojih prirodnih ulja i smola, tikovina se ne samo da opire apsorpciji vode, već je i izuzetno otporna na soli. Ova otpornost je jedan od glavnih razloga zašto je tikovina omiljena u brodogradnji, posebno u dijelovima plovila koji su često u dodiru sa slanom vodom, poput paluba, okvira i vanjskih oplata. Hrast, iako također otporan na vodu, nije toliko otporan na soli kao tikovina i može zahtijevati dodatnu zaštitu ili tretman kako bi

izdržao dugotrajnu izloženost slanoj vodi. Ova zaštita može uključivati tretmane impregnacijom ili korištenje specijalnih premaza koji štite drvo od korozivnih učinaka soli.

UV zračenje iz sunčevih zraka također predstavlja značajan problem za drvo koje je izloženo otvorenom okruženju. Dugi periodi izloženosti UV zračenju mogu uzrokovati fotodegradaciju površinskog sloja drva, što dovodi do promjene boje, isušivanja, pucanja i smanjenja mehaničkih svojstava. Ovaj proces se najviše manifestira u obliku sivo-smeđe patine koja se pojavljuje na površini drva koje nije zaštićeno. Tikovina, zbog svojih prirodnih ulja, pokazuje značajnu otpornost na UV zračenje. Iako će i tikovina s vremenom promijeniti boju pod utjecajem UV zraka, njena struktura ostaje relativno netaknuta, a promjena boje može se obnoviti laganim brušenjem i primjenom zaštitnih ulja. To je jedan od razloga zašto tikovina ostaje preferirani materijal za vanjske dijelove plovila. Za drva koja su manje otporna na UV zračenje, poput bora ili cedra, preporuča se korištenje UV zaštitnih premaza. Ovi premazi, obično u obliku specijalnih lakova ili ulja s UV inhibitorima, mogu značajno produžiti životni vijek drva izloženog sunčevoj svjetlosti (Carlsson, Adams i Pipes, 2013).

## **4 PREDNOSTI FIZIČKIH I MEHANIČKIH SVOJSTAVA DRVA**

### **4.1 Prednosti drva u odnosu na moderne materijale**

#### **4.1.1 *Drvo i staklo plastika***

Prednosti stakloplastike:

- Otpornost na truljenje i niska potreba za održavanjem: Stakloplastika je otpornija na truljenje i vlagu od drva, što rezultira manjim troškovima održavanja.
- Mogućnost stvaranja kompleksnih oblika: Stakloplastika se može lako oblikovati u složene oblike, što je korisno za moderne dizajne brodova.

Nedostaci stakloplastike u odnosu na drvo:

- Težina: Iako je stakloplastika lagana u odnosu na metalne materijale, obično je teža od drva. Drveni brodovi su lakši i često nude bolju performansu na vodi.
- Složeniji popravci: Popravak stakloplastike može biti složeniji i zahtijevati specijalizirane materijale i alate. S druge strane, drvo se može relativno

jednostavno popraviti s osnovnim alatima.

- Estetika: Drvo pruža prirodni estetski izgled koji je teško replicirati s umjetnim materijalima poput stakloplastike (Strupar, 2016).

### 4.1.2 *Drvo i aluminij*

Prednosti aluminija:

- Otpornost na koroziju i dugotrajnost: Aluminij, kao i drvo, ne hrđa, ali je otporniji na koroziju u morskoj vodi u usporedbi s drugim metalima. Također, aluminij zahtijeva manje održavanja od drva.
- Veća čvrstoća: Aluminij je znatno čvršći od drva kada je riječ o specifičnim opterećenjima, što omogućava izgradnju lakih, ali vrlo jakih konstrukcija.

Nedostaci aluminija u odnosu na drvo:

- Složenost obrade: Obrada aluminija zahtijeva specijalizirane alate i vještine, dok se drvo može lako obrađivati jednostavnim alatima.
- Toplinska vodljivost: Aluminij je visoko toplinski vodljiv, što može rezultirati gubitkom topline unutar broda, dok drvo prirodno izolira toplinu.
- Estetski i ekološki aspekti: Drvo pruža topliji, prirodniji izgled i ima manji ekološki otisak jer je obnovljiv resurs, dok je proizvodnja aluminija energetski intenzivna (Radmanović, 2015).

### 4.1.3 *Drvo i čelik*

Prednosti čelika:

- Izuzetna čvrstoća i otpornost na udarce: Čelik je vrlo jak i može podnijeti velika opterećenja i udarce, što ga čini idealnim za velike brodove koji se suočavaju s teškim uvjetima na moru.
- Dugovječnost: Kada se pravilno održava, čelik može trajati desetljećima bez značajnog propadanja.

Nedostaci čelika u odnosu na drvo:

- Težina: Čelik je značajno teži od drva, što može smanjiti performanse broda, posebno u smislu brzine i upravljivosti.

- Korozija: Iako je čelik izuzetno jak, podložan je koroziji, posebno u morskom okruženju, što zahtijeva redovito održavanje i zaštitu površine.
- Težina obrade: Obrada i popravak čelika zahtijeva specijaliziranu opremu i vještine, dok je drvo lakše za rad i popravak u terenskim uvjetima (Radmanović, 2015).

## 4.2 Dugovječnost i održavanje drvenih plovila

Prvi i najvažniji faktor koji doprinosi dugovječnosti drvenog plovila je kvaliteta korištenog drva. Vrste drva kao što su hrast, mahagoni, tikovina, i cedar poznate su po svojoj otpornosti na vlagu, štetnike i mehaničko habanje, što ih čini idealnim za brodogradnju. Drvo visoke gustoće, poput hrasta, pruža izvanrednu čvrstoću i dugovječnost, ali zahtijeva ispravno sušenje i obradu kako bi se spriječilo savijanje i pucanje.

Konstrukcija plovila također igra ključnu ulogu u njegovoj dugovječnosti. Tradicionalne tehnike kao što su clinker (preklapajući spojevi) ili carvel (glatki spojevi) osiguravaju čvrstoću i otpornost na prodiranje vode. Korištenje visokokvalitetnih veziva, brtvi i vijaka dodatno osigurava stabilnost i dugovječnost plovila. Drvo je prirodni materijal koji reagira na promjene u okolišu. Voda, sol, sunčevo zračenje i temperatura mogu značajno utjecati na stanje drvenog plovila. Voda, posebno slana, može uzrokovati propadanje drva ako nije adekvatno zaštićeno, dok sunčevo UV zračenje može uzrokovati pucanje i sušenje površinskih slojeva drva. Zato je redovita impregnacija, bojanje i lakiranje drvenih dijelova plovila ključna za sprječavanje ovih štetnih utjecaja.

Zaštita drva od vlage je od presudne važnosti, jer višak vlage može uzrokovati truljenje i napad plijesni. Moderne tehnike uključuju korištenje epoksidnih smola, koje stvaraju zaštitni sloj između drva i vanjskih elemenata, čime se smanjuje prodor vlage i povećava otpornost na okolišne utjecaje. Održavanje drvenog plovila zahtijeva redovitu pažnju i posvećenost. Ključni aspekti održavanja uključuju pregled, čišćenje, brušenje, bojanje, i popravke. Plovilo bi trebalo biti pregledano najmanje jednom godišnje, s posebnim naglaskom na podvodne dijelove trupa, spojeve i druge potencijalne točke prodora vode. Svaka oštećenja, poput pukotina ili oštećenja veziva, moraju biti odmah popravljena kako bi se spriječilo daljnje propadanje.

Brušenje i ponovno bojanje ili lakiranje vanjskih dijelova plovila, osobito trupa, potrebno je redovito obavljati kako bi se održala zaštita drva. Upotreba kvalitetnih boja i lakova otpornih na UV zračenje i slanu vodu može značajno produžiti vijek trajanja zaštitnih slojeva.

Unutrašnji dijelovi plovila također zahtijevaju pažnju, osobito u područjima koja su sklona skupljanju vlage. Drvene unutrašnje površine treba redovito čistiti i premazivati kako bi se spriječilo stvaranje plijesni i truleži. Ventilacija unutar plovila također je



ključna za održavanje suhe unutrašnjosti. Prevencija je najbolji način za očuvanje dugovječnosti drvenog plovila.

Redoviti pregledi omogućuju rano otkrivanje problema, što olakšava popravke i smanjuje rizik od većih oštećenja. Svaki popravak treba biti izvršen s velikom pažnjom, koristeći originalne ili visokokvalitetne zamjenske materijale kako bi se očuvala strukturalna integritet i estetika plovila (Cigula, 2020).

## **5 MODERNE TEHNOLOGIJE U PRIMJENI DRVA ZA IZRADU MALIH PLOVILA**

Drvo je materijal s dugom povijesnom tradicijom u brodogradnji, cijenjen zbog svojih prirodnih svojstava poput čvrstoće, fleksibilnosti, lakoće obrade i estetske privlačnosti. Iako su moderni materijali poput aluminija, čelika i stakloplastike preuzeli dominantnu ulogu u velikoj brodogradnji, drvo i dalje ima značajnu ulogu u izradi malih plovila. Napredak u tehnologijama obrade drva omogućio je primjenu ovog materijala u dijelovima plovila koji zahtijevaju visoku izdržljivost, preciznost i estetsku vrijednost. U ovom poglavlju istražiti ćemo moderne tehnologije koje su transformirale primjenu drva u izradi malih plovila.

Drvo se i danas koristi za izradu različitih dijelova malih plovila, uključujući:

- **Trup:** Glavna konstrukcija plovila koja uključuje kobilicu, rebra i oplatu. Drvo se koristi zbog svoje čvrstoće, fleksibilnosti i otpornosti na vanjske uvjete.
- **Paluba:** Gornji dio plovila koji pruža zaštitu unutrašnjosti i služi kao radna površina. Drvo je omiljeno zbog svoje estetske privlačnosti i prirodnog prijanjanja, što ga čini sigurnim za hodanje.
- **Jarboli i grede:** Drveni jarboli i grede pružaju fleksibilnost i čvrstoću potrebnu za podršku jedrima i drugim elementima koji trpe velike sile.
- **Unutarnja oprema:** Namještaj, paneli i obloge unutar kabine često su izrađeni od drva zbog njegove prilagodljivosti i estetske vrijednosti.
- **Kobilica:** Središnji dio trupa plovila koji pruža stabilnost i nosivost. Drvo, često lamelirano, koristi se za izradu laganih i čvrstih kobilica.
- **Rebra (okviri trupa):** Rebra su konstrukcijski elementi unutar trupa koji mu daju oblik i strukturalnu čvrstoću. Često se izrađuju od drva zbog njegove sposobnosti da podnese savijanje i pritisak.
- **Štulpi i rukohvati:** Rukohvati i drugi manji funkcionalni i dekorativni elementi često se izrađuju od drva, zbog njegove estetike i taktalnog osjećaja.
- **Kormilo:** Kormilo, koje se koristi za upravljanje plovilom, često je izrađeno od drva zbog njegove čvrstoće i otpornosti na vodu (Poljak, 2015).

## 5.1 CNC obrada drva

CNC (Computer Numerical Control) odnosi se na računalno upravljanje alatima za obradu materijala, pri čemu računalni sustav interpretira upute iz proizvodnog koda i na temelju tih uputa precizno upravlja radom strojeva. Prethodnik CNC tehnologije, NC (Numerical Control), počeo se razvijati krajem 1940-ih i početkom 1950-ih godina u MIT Servomechanisms Laboratory u Sjedinjenim Američkim Državama. NC sustavi omogućili su automatiziranu proizvodnju specifičnih dijelova pomoću numerički kontroliranih strojeva. Prvi CNC sustavi naslijedili su NC hardver, ali su koristili računala za izračunavanje i uređivanje putanje alata. U ranom razdoblju, od 1950-ih do kasnih 1970-ih godina, prijenos G-koda u kontrolnu jedinicu obavljao se putem bušenih vrpca, koje su kasnije zamijenjene disketama, a danas se taj prijenos obavlja standardnim računalnim mrežnim kabelima. Fajlovi s G-kodom često se snimaju s ekstenzijama specifičnim za pojedine proizvođače, koje odgovaraju njihovim ISO standardima. Na primjer, SCM\_Xilog Plus koristi ekstenziju .pgm.

Slika 9. prikazuje pojednostavljeni prikaz tijeka rada za CNC obradu, naglašavajući ključne faze i softverske aplikacije koje se koriste u tom procesu. CNC obrada (Computer Numerical Control) predstavlja moderni proces u kojem se strojevi programiraju pomoću računala kako bi precizno izveli obrade na različitim materijalima. Ovaj proces je ključan za proizvodnju u brodogradnji, posebno u izradi dijelova malih plovila (Šapina, 2013).

Prva faza: CAD (Computer Aided Design)

Proces CNC obrade započinje s CAD softverom, koji služi za stvaranje geometrije obratka koji će biti obrađen. CAD softver omogućuje inženjerima i dizajnerima da kreiraju detaljne 2D ili 3D modele dijelova plovila. Ovi modeli predstavljaju virtualne prikaze konačnih proizvoda i uključuju sve bitne dimenzije, oblike i tehničke specifikacije. U kontekstu brodogradnje, CAD modeli mogu uključivati složene geometrije poput zakrivljenih površina, unutarnjih struktura, kao i precizne dimenzije koje su neophodne za izradu dijelova plovila.

Druga faza: CAM (Computer Aided Machining)

Nakon što je geometrija kreirana u CAD softveru, datoteka se prenosi u CAM softver. Ovdje se primjenjuje strategija alatiranja ili "toolpathinga", što uključuje planiranje i definiranje putanje koju alat treba slijediti tijekom obrade. CAM softver omogućuje precizno definiranje svih aspekata obrade, uključujući brzinu alata, dubinu rezanja i vrstu alata koji će se koristiti. U brodogradnji, ovo je posebno važno jer omogućuje optimizaciju procesa kako bi se osigurala maksimalna preciznost i kvaliteta izrade dijelova plovila. CAM softver također generira G-kod, koji predstavlja upute za CNC

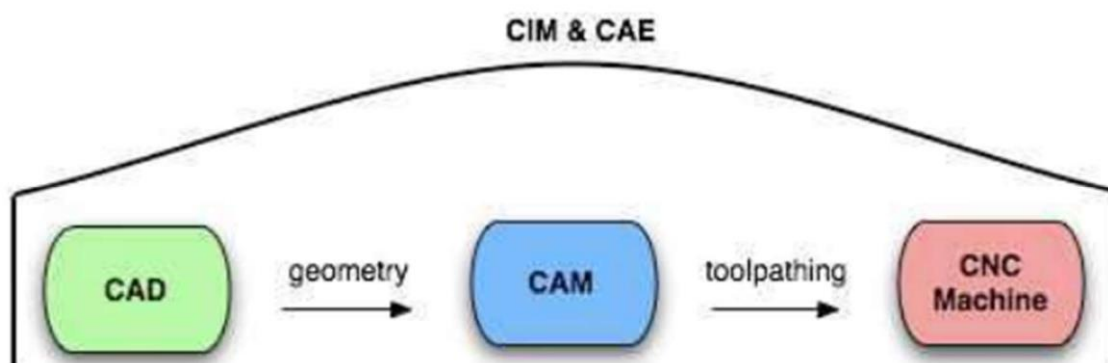
stroj o tome kako izvesti obradu.

Treća faza: CNC Stroj

Nakon što je alatiranje završeno u CAM softveru, datoteka se šalje na CNC stroj. CNC stroj koristi dobivene upute za automatsko upravljanje alatima i izvršava preciznu obradu materijala prema zadanim specifikacijama. U kontekstu izrade dijelova plovila, CNC strojevi omogućuju visoku razinu preciznosti, što je ključno za osiguranje da svi dijelovi savršeno odgovaraju i ispunjavaju zahtjeve za sigurnost i performanse.

Podrška putem CIM i CAE softvera

Cjelokupni proces proizvodnje podržan je putem CIM (Computer Integrated Manufacturing) i CAE (Computer Aided Engineering) aplikacija. CIM softver omogućuje integraciju svih faza proizvodnje, povezujući CAD, CAM i CNC u jedan kontinuirani proces. CAE aplikacije pružaju dodatne usluge poput simulacija, analize i optimizacije, koje pomažu u osiguravanju da konačni proizvod zadovoljava sve tehničke zahtjeve i standarde (Paiu, Androne i Cosereanu, 2020).



Slika 9- Hijerarhija nastajanja CNC softvera

Izvor: Šapina, M., 2013.

## 5.2 Epoksidne smole i kompoziti

Epoksidne smole su polimerni materijali koji su postali neizostavan dio modernih tehnika obrade drva u brodogradnji. Njihova primjena u drvenoj brodogradnji izazvala je pravu revoluciju, omogućujući stvaranje čvrstih, stabilnih i dugotrajnih konstrukcija. Glavna svojstva epoksidnih smola su njihova izvanredna adhezivna svojstva i sposobnost formiranja zaštitnih slojeva na drvenim površinama. Ovi slojevi sprječavaju

daljnje upijanje vlage, čime drvo postaje otpornije na deformacije uzrokovane promjenama u vlažnosti okoliša. Jedna od ključnih prednosti epoksidnih smola u brodogradnji je njihova sposobnost impregnacije drva. Impregnacija omogućuje duboko prodiranje smole u strukturu drva, čime se poboljšava njegova otpornost na vlagu i napade štetnika poput drvotočaca. Time se smanjuje potreba za čestim održavanjem i povećava trajnost brodova. Također, epoksidne smole služe kao izvrsno ljepilo, osiguravajući čvrsto povezivanje različitih dijelova trupa i drugih konstrukcijskih elemenata broda. Na taj način, epoksidne smole omogućuju izradu vrlo čvrstih i stabilnih drvenih konstrukcija, koje mogu izdržati zahtjevne uvjete na moru.

Kompoziti, posebice polimerni kompoziti ojačani staklenim vlaknima, često se koriste zajedno s epoksidnim smolama u drvenoj brodogradnji. Ovi materijali nude izvanrednu čvrstoću i otpornost na mehanička opterećenja, što je od velike važnosti za brodove koji moraju izdržati velike sile tijekom plovidbe. Kompoziti omogućuju smanjenje težine broda, što rezultira boljim performansama, manjom potrošnjom goriva i većom ekonomičnošću. U kombinaciji s epoksidnim smolama, kompozitni materijali stvaraju zaštitne slojeve koji pružaju dodatnu otpornost na vanjske utjecaje, uključujući vlagu, UV zračenje i korozivne učinke morske soli. Time se postiže visoka razina zaštite drva, što smanjuje potrebu za čestim održavanjem i produžuje vijek trajanja broda. Održavanje brodova izrađenih pomoću epoksidnih smola i kompozita sličan je održavanju brodova izrađenih isključivo od polimernih materijala, čime se značajno smanjuju troškovi i vrijeme potrebno za održavanje plovila (Carlsson, Adams i Pipes, 2013).

### 5.3 Lameliranje drva

Lamelirano lijepljeno drvo, poznato i kao glulam, predstavlja jedan od najnaprednijih materijala u modernoj građevinskoj industriji. Njegova proizvodnja uključuje sofisticirane procese koji omogućuju postizanje izvrsnih tehničkih svojstava, čineći ga idealnim izborom za različite konstrukcijske aplikacije, uključujući visokogradnju i brodogradnju. Lamelirano drvo sastoji se od slojeva drvenih lamela koje su povezane ljepilom, stvarajući snažne i fleksibilne nosive elemente koji mogu biti ravni ili zakrivljeni, ovisno o potrebama projekta.

Proces proizvodnje lameliranog drva započinje sječom drva, koje se zatim obrađuje u lamelirane slojeve. Nakon sječe, trupci se pilju u lamele, obično korištenjem gatera posebnog stroja za piljenje drva. Gater omogućuje precizno rezanje drva, a širina lamela određuje se prema specifičnim zahtjevima projekta. Proces piljenja također može uključivati korištenje cirkularnih pila, ovisno o specifičnostima proizvodnje. Nakon piljenja, lamele prolaze kroz proces krajčanja, kojim se osigurava ujednačena širina lamela i uklanjanje nesavršenosti. Važno je napomenuti da ispiljene lamele moraju biti posložene na način koji omogućuje cirkulaciju zraka ispod njih, što je ključni korak prije daljnje obrade. Sljedeća faza u proizvodnji je prisilno sušenje lamela, proces koji se provodi u sušarama pomoću struje toplog zraka. Sušenje se odvija u komorama različitih

veličina, a pri tome se posebna pažnja posvećuje temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka kako bi se postigla optimalna vlažnost drva, koja ne smije prelaziti 15%. Jednom kada lamele postignu potrebnu vlažnost, uvode se u proizvodni pogon gdje započinje proces lijepljenja. Proizvodni pogon mora biti dobro ventiliran, a temperatura zraka mora biti stabilna na oko 20°C, uz relativnu vlažnost od približno 60%. Takvi uvjeti su ključni za osiguravanje kvalitete lijepljenja, sprječavanje deformacija te minimiziranje parazitnih napona koji bi mogli nastati zbog razlika u vlažnosti između susjednih lamela. Nakon lijepljenja, lamele se obično drže u kontroliranim uvjetima najmanje sedam dana, kako bi se postigla higroskopska ravnoteža.

Prije samog lijepljenja, lamele prolaze kroz dodatnu obradu kako bi se uklonile nesavršenosti, poput kvrga koje mogu smanjiti nosivost završnog proizvoda. Ove kvрге se prvo označavaju specijalnim markerom, a zatim se pomoću stroja precizno uklanjaju. Ovaj korak je kritičan za osiguravanje strukturalne integriteta i dugotrajnosti lameliranog nosača, jer kvрге i druge nesavršenosti mogu značajno utjecati na mehanička svojstva drva. Lameliranje drva omogućuje postizanje izvanredne čvrstoće i fleksibilnosti, a uz pomoć modernih tehnologija i metoda lijepljenja, može se proizvesti lamelirano drvo u različitim oblicima i veličinama, uključujući ravne, zakrivljene i kružne presjeke. Ovi nosači imaju široku primjenu u modernoj arhitekturi i građevinarstvu, te pružaju jedinstvenu kombinaciju estetskih i tehničkih svojstava koja nisu lako dostupna kod drugih građevinskih materijala. Lamelirano drvo predstavlja primjer kako tradicionalni materijali, kroz inovacije i napredne tehnike obrade, mogu zadovoljiti potrebe suvremene industrije i tržišta (Šapina, 2013).

## 5.4 Vakuumska infuzija

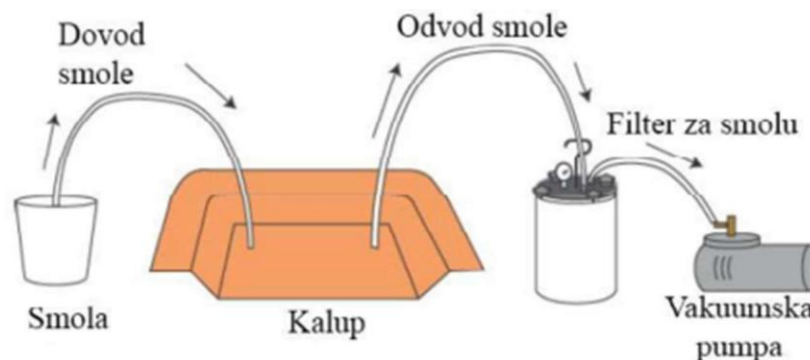
Vakuumska infuzija je napredna tehnologija koja se široko koristi u brodogradnji za izradu kompozitnih materijala s izvanrednim mehaničkim svojstvima. Ova metoda posebno je učinkovita za obradu drva kada se kombinira s polimernim smolama, kao što je epoksidna smola, koja poboljšava otpornost i trajnost drvenih brodskih trupova.

Proces vakuumske infuzije u brodogradnji započinje postavljanjem drva i ojačavajućih materijala, kao što su staklena ili karbonska vlakna, unutar pripremljenog kalupa. Kalup je obično izrađen od materijala koji su otporni na smolu i vakuum, osiguravajući savršeno zatvaranje cijelog sustava. Nakon postavljanja materijala, preko kalupa se postavlja fleksibilna folija koja se hermetički zatvara kako bi se stvorio vakuum unutar kalupa. Nakon što je kalup pripremljen i zapečaćen, smola se uvodi kroz cijev iz spremnika. Pomoću vakuumske pumpe, smola se ravnomjerno povlači kroz cijeli kalup, impregnirajući drvo i ojačavajuće materijale. Vakuum unutar kalupa uklanja zrak i sprječava stvaranje mjehurića, što omogućava smoli da u potpunosti prožme drvo i vlakna, čime se stvara homogeni i čvrsti kompozitni materijal. Jedna od glavnih prednosti vakuumske infuzije u brodogradnji je precizna kontrola omjera

smole i ojačavajućih materijala. Ovaj omjer je ključan za postizanje optimalne čvrstoće i fleksibilnosti broskog trupa. Smola obično čini oko 60% ukupnog volumena, dok ojačavajući materijali čine preostalih 40%. Ovaj uravnoteženi omjer smanjuje težinu konačnog proizvoda, što je od velike važnosti u brodogradnji, jer smanjuje potrošnju goriva i poboljšava manevarske sposobnosti plovila (Abdurohman et. Al., 2018).

Vakuumska infuzija također omogućava ravnomjernu raspodjelu smole unutar laminata, što osigurava konzistentnost kvalitete i strukturalnu integritetu cijelog broskog trupa. Time se minimiziraju potencijalne slabosti koje bi mogle nastati u tradicionalnim metodama lameliranja, gdje smola može biti neravnomjerno raspoređena. Još jedna važna prednost vakuumske infuzije u brodogradnji je smanjenje utjecaja na okoliš i poboljšanje sigurnosti rada. Budući da je cijeli proces zatvoren u kalupu, smanjuje se emisija isparavanja smole, što osigurava čišći i zdraviji radni okoliš za radnike. Ova tehnologija omogućava izradu visokokvalitetnih drvenih brodova s karakteristikama koje se inače povezuju s modernim kompozitnim materijalima, poput dugovječnosti, otpornosti na vlagu, sol i UV zračenje. Drveni brodski trupovi izrađeni ovom metodom zahtijevaju minimalno održavanje, što ih čini idealnim za dugotrajnu uporabu u zahtjevnim morskim uvjetima.

Vakumska infuzija, s mogućnošću fine kontrole nad procesom i završnim karakteristikama proizvoda, predstavlja tehnološki napredak u brodogradnji drvenih plovila, omogućavajući integraciju tradicionalnih materijala s modernim proizvodnim tehnikama kako bi se postigli vrhunski rezultati (Vacuum infusion, 2009).



Slika 10- Postupak vakuumske infuzije

Izvor: Vacuum Infusion , 2009., The Equipment and Process of Resin Infusion,

[www.fibreglast.com](http://www.fibreglast.com)

## 5.5 3D modeliranje i CAD/CAM Softver

3D modeliranje je proces stvaranja trodimenzionalnih prikaza objekata putem računalnih programa. U kontekstu brodogradnje, a posebno u izradi malih plovila, 3D

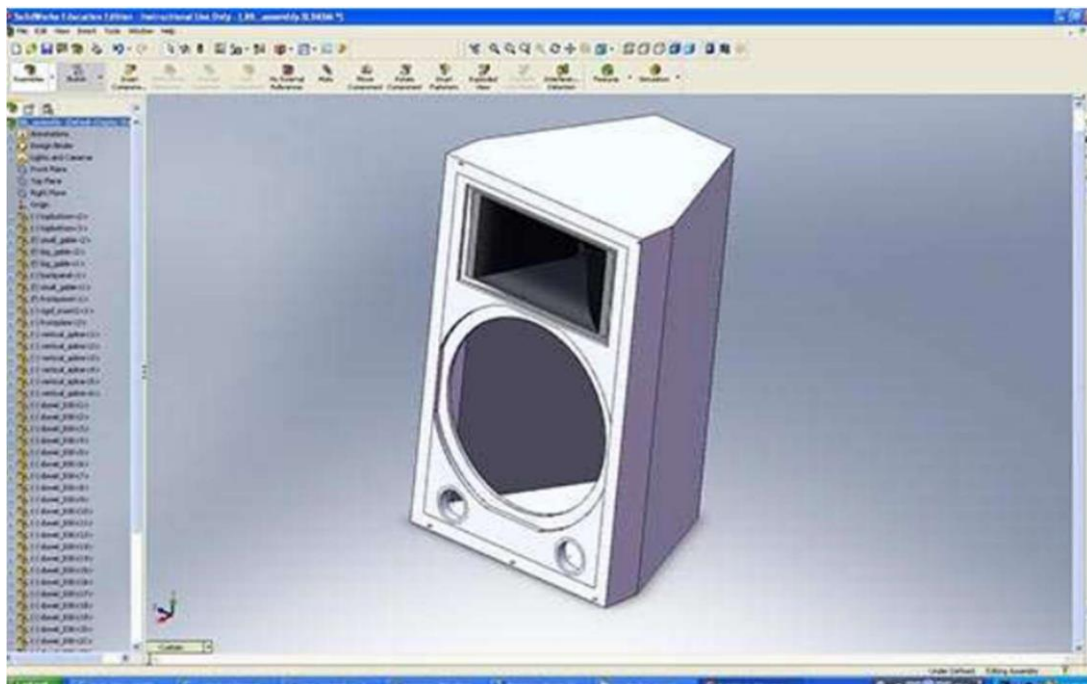
modeliranje omogućava inženjerima i dizajnerima da precizno kreiraju i vizualiziraju sve aspekte plovila prije nego što započne fizička izrada. Ovaj proces značajno smanjuje rizik od grešaka, omogućava optimizaciju dizajna, te pomaže u predviđanju ponašanja materijala pod različitim uvjetima.

CAD Softveri (Computer Aided Design) su neophodni alati u modernoj brodogradnji. Omogućavaju dizajnerima da kreiraju složene geometrijske modele plovila s visokom preciznošću. U slučajevima izrade drvenih plovila, CAD softveri olakšavaju prilagođavanje dizajna specifičnostima drva kao materijala, uključujući faktore kao što su gustoća, elastičnost, te otpornost na okolišne utjecaje. Koristeći CAD, dizajneri mogu simulirati ponašanje drvenih komponenata plovila pod različitim uvjetima opterećenja, što omogućava optimizaciju konstrukcije za dugovječnost i sigurnost. Jedna od ključnih prednosti 3D modeliranja unutar CAD softvera je mogućnost izrade virtualnih prototipova. Umjesto da se izrađuju fizički modeli, što može biti skupo i dugotrajno, inženjeri mogu kreirati i testirati svoje dizajne unutar softvera. Ova tehnologija omogućava iterativni proces dizajniranja, gdje se promjene mogu brzo implementirati i testirati u virtualnom okruženju, prije nego što se pređe na stvarnu proizvodnju.

CAM Softveri (Computer Aided Manufacturing) su drugi ključni aspekt modernog pristupa izradi plovila. CAM softveri omogućavaju pretvaranje dizajna izrađenih u CAD-u u konkretne upute za strojnu obradu drva. Proces se sastoji od generiranja G-koda, koji precizno definira putanje alata potrebne za izradu određenih dijelova plovila. U kontekstu obrade drva, CAM softveri omogućavaju optimizaciju rezanja, bušenja i oblikovanja drvenih komponenti, čime se smanjuje otpad materijala i poboljšava učinkovitost proizvodnog procesa (Šapina, 2013).

U brodogradnji malih plovila, integracija CAD/CAM tehnologija pruža nekoliko ključnih prednosti. Prvo, omogućava visoku razinu preciznosti u izradi kompleksnih drvenih struktura, kao što su zakrivljene linije trupa ili unutarnji potpornji. Preciznost je od izuzetne važnosti kada se radi o osiguravanju čvrstoće i stabilnosti plovila, te minimiziranju rizika od nepravilnosti koje bi mogle ugroziti integritet konstrukcije. Drugo, CAD/CAM sustavi omogućavaju brzu prilagodbu dizajna specifičnim potrebama klijenata ili specifičnim uvjetima plovidbe. Na primjer, mogu se brzo prilagoditi dizajni za plovila koja su namijenjena za plovidbu u različitim morskim uvjetima, ili koja moraju ispunjavati specifične zahtjeve u pogledu brzine, manevriranja ili kapaciteta.

Također, korištenje CAD/CAM tehnologija smanjuje vrijeme potrebno za izradu malih plovila, omogućujući bržu reakciju na promjene u tržišnim zahtjevima. To je posebno važno za male brodograditelje koji moraju biti agilni kako bi ostali konkurentni (Paiu-et.al., 2020).



Slika 11- SolidWorks, CAD softver  
Izvor: Šapina, M., 2013.

## 6 EKOLOŠKA RAZMATRANJA KORIŠTENJA DRVA U BRODOGRADNJI

Jedna od najvažnijih prednosti drva kao materijala u brodogradnji je njegova održivost i obnovljivost. Drvo je prirodni materijal koji se može uzgajati i obnovljati kroz održive šumske prakse. Za razliku od neobnovljivih resursa poput metala i plastike, drvo se može uzgajati i sakupljati na način koji minimalno utječe na okoliš. Korištenjem drva iz certificiranih izvora, kao što su one šume koje se održivo upravljaju prema standardima kao što su FSC (Forest Stewardship Council), može se osigurati da materijal koji se koristi za gradnju plovila ne pridonosi nestanku šuma i gubitku bioraznolikosti.

Održiva šumska gospodarstva također pridonose borbi protiv klimatskih promjena, jer šume imaju sposobnost apsorpcije ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) iz atmosfere. Stoga, korištenje drva koje potječe iz održivo upravljanih šuma može imati pozitivan utjecaj na smanjenje globalnog ugljičnog otiska brodogradnje. Štoviše, drvo kao materijal zadržava ugljik tijekom cijelog svog životnog vijeka, čime se dodatno smanjuje količina CO<sub>2</sub> u atmosferi.

Iako drvo ima brojne prednosti u pogledu održivosti, proces proizvodnje i obrade drva za brodogradnju također ima utjecaj na okoliš koji se mora uzeti u obzir. Proizvodnja drva uključuje sječu stabala, transport trupaca, te njihovu preradu u pilane,



što sve može dovesti do emisije stakleničkih plinova, gubitka staništa i erozije tla ako se ne provodi odgovorno. Međutim, moderne tehnologije obrade drva i napredni sustavi upravljanja šumama mogu značajno smanjiti negativne ekološke posljedice. Na primjer, korištenje energetski učinkovitih strojeva za piljenje i sušenje drva može smanjiti potrošnju energije i emisije stakleničkih plinova. Nadalje, upotreba otpadnog drva za proizvodnju energije ili kao sirovine za druge proizvode može pomoći u smanjenju otpada i povećanju učinkovitosti korištenja resursa. Dodatno, upotreba ekološki prihvatljivih premaza i ljepila u završnoj obradi drvenih plovila može značajno smanjiti emisiju štetnih kemikalija u okoliš. Tradicionalno, drvena plovila su bila tretirana zaštitnim premazima koji su sadržavali toksične spojeve kako bi se spriječilo truljenje i napadi štetočina. Međutim, suvremeni materijali, poput ekoloških epoksidnih smola i prirodnih ulja, pružaju dugotrajnu zaštitu drva bez štetnog utjecaja na okoliš (Nicolson, 1995).

Jedna od ključnih prednosti drva u brodogradnji je njegova sposobnost recikliranja i ponovne upotrebe. Drvena plovila, nakon završetka svog vijeka trajanja, mogu se lako reciklirati ili ponovno koristiti u druge svrhe, što značajno smanjuje ekološki otisak. Za razliku od plastičnih ili metalnih plovila, koja često završavaju na odlagalištima otpada ili u oceanima kao opasan otpad, drvena plovila se mogu kompostirati ili koristiti kao biomasu za proizvodnju energije. Dugoročno, drvena plovila također imaju manji ekološki utjecaj jer ne emitiraju toksične spojeve u okoliš tijekom svog životnog vijeka. Materijali poput stakloplastike ili aluminijske, koji se često koriste u modernoj brodogradnji, imaju značajan utjecaj na okoliš zbog procesa njihove proizvodnje, uporabe i zbrinjavanja. Na primjer, stakloplastika se teško reciklira i često završava na odlagalištima, dok proizvodnja aluminijske zahtijeva veliku količinu energije i generira značajne količine stakleničkih plinova. Drvena plovila, s druge strane, imaju prirodnu sposobnost integriranja u ekosustave kada dođe vrijeme za njihovo zbrinjavanje. Prirodni proces razgradnje drva može vratiti hranjive tvari u ekosustav, čime se podržava održavanje tla i sprječava zagađenje okoliša. Također, drvo kao materijal nije toksično, što znači da njegovo zbrinjavanje ne ugrožava lokalne vodene resurse ili životinje.

Osim toga, drvo se može koristiti za izradu plovila s dugim životnim vijekom. S pravilnim održavanjem i tretmanima, drvena plovila mogu trajati desetljećima, pa čak i stoljećima, čime se smanjuje potreba za čestom zamjenom i proizvodnjom novih plovila. Ova dugovječnost dodatno smanjuje ukupni ekološki utjecaj brodogradnje (Grubišić et.al., 2001).

## 7 ZAKLJUČAK

Primjena drva u izradi malih plovila ima duboke korijene u povijesti brodogradnje i ostaje značajan aspekt suvremene industrije, unatoč napretku u razvoju modernih materijala kao što su aluminij, čelik i kompoziti. Drvo, zahvaljujući svojim prirodnim svojstvima poput čvrstoće, otpornosti na vlagu i estetske privlačnosti, pruža brojne prednosti koje su teško dostižne drugim materijalima. Njegova održivost i mogućnost recikliranja dodatno naglašavaju njegovu ekološku vrijednost u svijetu koji sve više cijeni održive prakse. U radu su detaljno analizirane različite vrste drva koje se koriste u brodogradnji, kao i tehnološki procesi koji omogućuju izradu kvalitetnih i dugotrajnih plovila. Tradicionalne tehnike obrade drva kombinirane s modernim tehnologijama, kao što su CNC obrada, primjena epoksidnih smola i laminiranje, omogućuju stvaranje plovila koja su estetski privlačna, funkcionalna i ekološki prihvatljiva. Osim toga, ekološka razmatranja korištenja drva u brodogradnji ukazuju na njegov potencijal kao obnovljivog resursa koji ima manji utjecaj na okoliš u usporedbi s drugim materijalima. Recikliranje drvenih plovila i njihova sposobnost prirodne razgradnje također smanjuju dugoročni ekološki otisak brodogradnje.

Zaključno, iako su moderni materijali preuzeli dominantnu ulogu u velikoj brodogradnji, drvo ostaje neprocjenjiv materijal u izradi malih plovila. Njegova kombinacija tradicionalnih vrijednosti, tehničkih svojstava i ekoloških prednosti čini ga trajno relevantnim i poželjnim materijalom u svijetu brodogradnje. Kroz primjenu suvremenih tehnologija, drvo će i dalje igrati ključnu ulogu u održivoj i inovativnoj brodogradnji.

## POPIS LITERATURE

1. Abdurohman, K., Satrio, T., Muzayadah, N., L., Teten, 2018., A comparison process between hand lay-up, vacuum infusion and vacuum bagging method toward e-glass EW composites <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1130/1/012018/pdf>
2. Carlsson L.A., Adams D.F., Pipes R.B., 2013., Basic Experimental Characterization of Polymer Matrix Composite Materials [https://www.researchgate.net/publication/263557657\\_Basic\\_Experimental\\_Characterization\\_of\\_Polymer\\_Matrix\\_Composite\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/263557657_Basic_Experimental_Characterization_of_Polymer_Matrix_Composite_Materials)
3. Cigula, M., 2020., Hrvatska tradicijska brodogradnja, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, završni rad
4. Deranja, G., 2014., Materijali u brodogradnji, Politehnika Pula-Visokotehnička- poslovna škola
5. Gorgonija.com, 2021., Kolumbovi brodovi <https://gorgonija.com/2021/11/05/columbovi-brodovi/>
6. Grubišić, I., (2005), Konstrukcija malih brodova
7. Grubišić, I., Despot, R., Trajković, J., Balić, M., ( 2001), Perspektive drva kao građevnog materijala u Hrvatskoj brodogradnji. Drvna industrija 52(2),77-85
8. Heyerdahl, T., 1947., Ekspedicija Kon- Tiki
9. Jirouš-Rajković, V., Turkulin, H., Živković, V.,(2007), Metode poboljšanja svojstava građevnog drva. Drvna industrija 58(1), 23-33
10. Markovina, R., 2011., Tradicionalna tehnologija gradnje korčulanske barke-brodice [https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/08\\_03\\_2011\\_14589\\_t2-1\\_markovina.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/08_03_2011_14589_t2-1_markovina.pdf)
11. Nicolson, I., 1995., Boat Data Book, Third Edition
12. Paiu, I., Androne, A., Cosereanu, C., 2020., CAD-CAM-CAE in wood industry
13. Pomorac.hr, 2016., Vikinzi i njihovo umjeće gradnje brodova, <https://pomorac.hr/2016/11/28/vikinzi-i-njihovo-umijece-gradnje-brodova/>
14. Poljak, B., 2015., Konstrukcija CNC glodalice za obradu drva, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, diplomski rad
15. Radmanović, K., 2015., Utjecaj mehaničkih svojstava drva na snagu potrebnu za odvajanje čestica pri ortogonalnom rezanju, Sveučilište u zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, doktorski rad
16. Rajčić, V., 2016., Svojstva drva kao materijala, Građevinski fakultet

Sveučilišta u Zagrebu

17. Salamon, V., Hrvatski tradicijski brodovi, More-hrvatsko blago (zbornik radova).Zagreb, str.673-710.
18. Strupar, L., 2016., Recikliranje stakloplastike, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, diplomski rad
19. Šapina, M., 2013., CNC tehnologija u drvnoj industriji[http://ss-drvodjeljska-zg.skole.hr/upload/ss-drvodjeljska-zg/images/static3/666/attachment/CNC\\_tehnologija\\_u\\_drvnoj\\_industriji.pdf](http://ss-drvodjeljska-zg.skole.hr/upload/ss-drvodjeljska-zg/images/static3/666/attachment/CNC_tehnologija_u_drvnoj_industriji.pdf)
20. Vacuum Infusion The Equipment and Process of Resin Infusion, 2009.,<https://www.fibreglast.com/>
21. Vuljanić, M., 2022., Karakterizacija vrsta drva primjenjenih u brodogradnji, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, završni rad

## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 1- Primjer tehnike preklapanja dasaka .....                                     | 6  |
| Slika 2- Starinski plamenik tzv. Letlampa .....                                       | 7  |
| Slika 3- Drakkar .....  | 8  |
| Slika 4- Santa Maria, La Nina i La Pinta .....  | 9  |
| Slika 5- Kon- Tiki .....  | 10 |
| Slika 6- Galijica.....  | 11 |
| Slika 7- Ovisnost čvrstoće drva na 15% vlažnosti u odnosu na postotak vlažnosti.....  | 15 |
| Slika 8- Izgled uzorka i shema opterećenja za ispitivanje čvrstoće na savijanje ..... | 16 |
| Slika 9- Hijerarhija nastajanja CNC softvera .....                                    | 26 |
| Slika 10- Postupak vakuumske infuzije .....   | 30 |
| Slika 11- SolidWorks, CAD softver.....  | 32 |