

# Pregled radova za dovođenje 5,8 metarske drvene jedrilice u plovidbeno stanje

---

**Peršić, Karlo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:008789>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-06**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij brodogradnje

Završni rad

**PREGLED RADOVA ZA DOVOĐENJE 5,8 METARSKE  
DRVENE JEDRILICE U PLOVIDBENO STANJE**

Rijeka, rujan 2022.

Karlo Peršić

0069064235

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij brodogradnje

Završni rad

**PREGLED RADOVA ZA DOVOĐENJE 5,8 METARSKE  
DRVENE JEDRILICE U PLOVIDBENO STANJE**

Mentor: prof. dr. sc. Roko Dejhalla

Rijeka, rujan 2022.

Karlo Peršić

0069064235

Rijeka, 18. ožujka 2022.

Predmet: **Završni rad**  
Polje: **2.02 Brodogradnja**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Karlo Peršić (0069064235)**  
Studij: **Preddiplomski stručni studij brodogradnje**

Zadatak: **PREGLED RADOVA ZA DOVOĐENJE 5,8 METARSKJE DRVENE JEDRILICE  
U PLOVIDBENO STANJE**

### Opis zadatka:

Izraditi pregled svih potrebnih radova za dovođenje drvene jedrilice dužine 5,8 m u plovidbeno stanje. Posebnu pažnju posvetiti odgovarajućoj zaštiti vanjske oplata, postavljanju tikovine na palubu te obnavljanju drvene kobilice. Na odgovarajući način dokumentirati (crteži, skice i dr.) sve ove radove na trupu.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

*Karlo Peršić*

Zadatak uručen pristupniku: 21. ožujka 2022.

Rok za predaju rada: 7. srpnja 2022.

Mentor:

*Dejhalla*

---

Prof. dr. sc. Roko Dejhalla

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

*Zamarin*

---

Prof. dr. sc. Albert Zamarin

## IZJAVA

kojom ja, Karlo Peršić, student Tehničkog fakulteta u Rijeci, kao autor završnog rada pod naslovom „Pregled radova za dovođenje 5,8 metarske drvene jedrilice u plovidbeno stanje“ izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno, oslanjanjem na radove navedene u popisu literature.

Potpis studenta: \_\_\_\_\_

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Roku Dejhalli na savjetima, znanju i pomoći dobivenima tijekom izrade ovoga završnog rada. Također se zahvaljujem doc. dr. sc. Dunji Legović što mi je kao voditeljica projekta za obnovu toga drvenog plovila omogućila pristup prostoru u kojem se nalazilo plovilo i na potrebnoj dokumentaciji. Time je uvelike pripomogla pri izradi istog. Zahvaljujem se i svim ostalim profesorima i profesoricama, asistentima i asistenticama koji su mi prenijeli vrijedna znanja i vještine tijekom studija.

I na kraju se želim zahvaliti svojoj obitelji, prijateljima i svim kolegama, a prvenstveno roditeljima, na razumijevanju i pruženoj potpori tijekom izrade ovog završnog rada kao i tijekom cijelog visokoškolskog obrazovanja.

Potpis studenta: \_\_\_\_\_

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PRIPREMA I POSTAVLJANJE TIKOVINE NA PALUBU .....	4
2.1. Površina palube .....	4
2.2. Priprema materijala prije postavljanja na palubu .....	7
2.2.1. Priprema trenica od tikovine .....	7
2.2.2. Ljepilo .....	9
2.2.3. Crno brtvilo .....	10
2.3. Postavljanje tikovine na palubu .....	11
3. ZAŠTITA VANJSKE OPLATE JEDRILICE .....	17
3.1. Materijal vanjske oplata i metoda kojom je napravljena .....	17
3.2. Metode zaštite vanjske oplata .....	20
3.2.1. Zaštita epoksidnom smolom .....	20
3.2.2. Zaštita staklenim ojačanjem .....	23
3.2.3. Zaštita vakuumskim postupkom .....	30
4. KOBILICA .....	33
5. ZAKLJUČAK .....	38
LITERATURA .....	39
POPIS OZNAKA I KRATICA .....	41
POPIS SLIKA I TABLICA .....	42
Popis slika .....	42
Popis tablica .....	43
SAŽETAK .....	44
SUMMARY .....	45

## 1. UVOD

Jedrilica je, u tehničkom smislu, plovilo koje funkcioniše kroz dva medija: zrak i vodu. Upotrebljavajući relativno gibanje između vode i zraka, jedrilica stvara silu koja je potrebna za njeno vlastito gibanje. Uz plutanje, jedrilica se mora i gibati, te biti u mogućnosti izdržati opterećenja koja nastaju zbog kormila, jedra i kobilice, te valova gdje jedrilica mora pružiti najmanji mogući otpor gibanju prema naprijed. [1]

U ovom radu se radi o drvenoj jedrilici za osobne potrebe klase L-5, čija je godina proizvodnje 1960. g. Dužina jedrilice je 5,8 m, a širina 1,8 m. Na *slici 1.1.* prikazana je navedena drvena jedrilica klase L-5 koja ima obnovljen trup i palubu, i koja je u plovnome stanju.

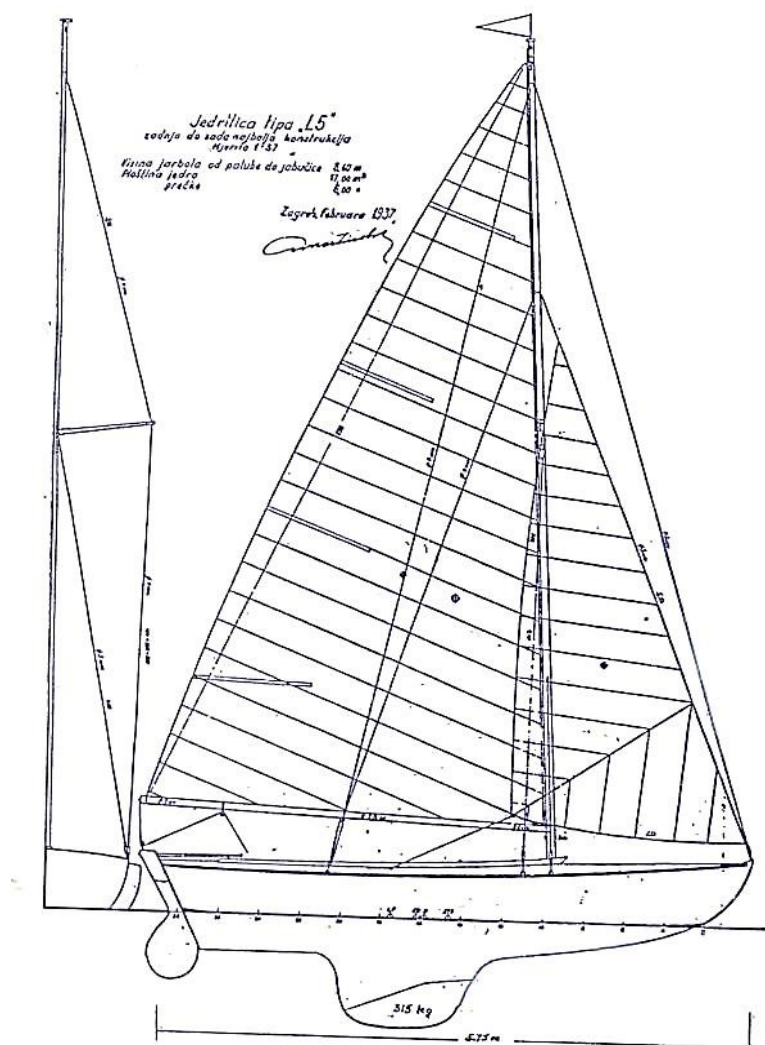


*Slika 1.1. Drvena jedrilica – slikano u prostoru edukativne radionice „Torpedo“*

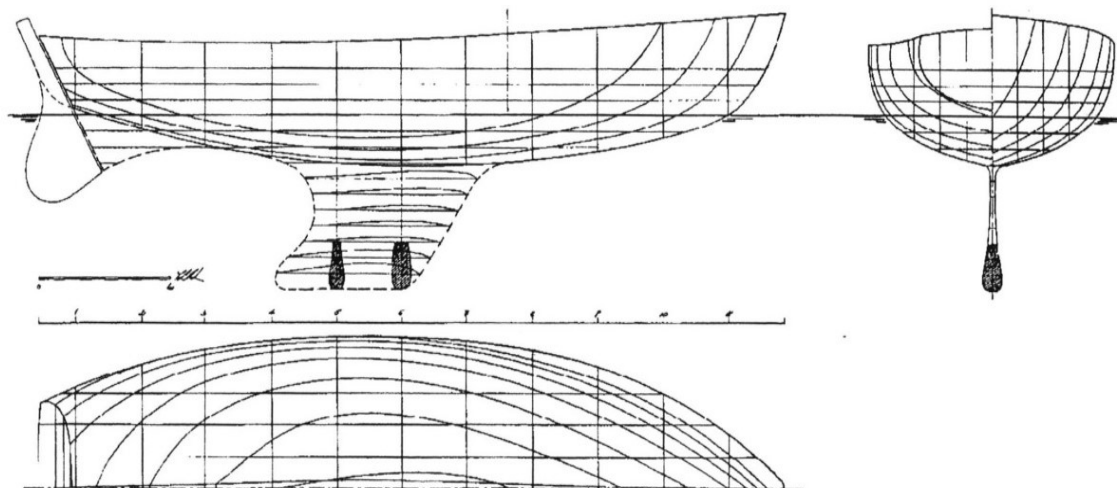


Općenito, od 1933. godine, jedrilica klase L-5 je prva nacionalna jedrilica koja je konstruirana od strane kapetana Antona Martinolića, koji je za uzor uzeo pasare lošinjskog tipa. Konstruirana je isključivo u sportske svrhe i služila je za utrke i kraću plovidbu. Takva jedrilica spada pod „slup“, odnosno jedrilicu s jednim jarbolom, te najčešće jednim prednjim jedrom. Od njezinog nastanka pa sve do sredine 60-tih godina 20. stoljeća, raste njezina popularnost kod jedriličara. Usprkos dobrim karakteristikama, izvanrednim sportskim i pomorskim odlikama, popularnost klase L-5 nakon toga perioda počinje opadati jer jedriličari sa tom klasom nisu imali mogućnosti sudjelovanja na međunarodnim regatama. [2]

Nacrt jedne takve jedrilice prikazan je na *slici 1.2.*, te nacrt linija iste na *slici 1.3.* Autor je kapetan Anton Martinolić.



Slika 1.2. Nacrt jedrilice L-5 dužine 5,75m iz 1937. godine [3]



*Slika 1.3. Nacrt linija jedrilice L-5 [4]*

Drvenoj jedrilici nedostaje pojedina oprema kao što su:

- vrata ili poklopac kabine,
- kormilo,
- vitla i ostala palubna oprema,
- jedra,
- konopi, itd.

Uz nabavu potrebne opreme trebalo bi zamijeniti drvenu kobilicu koja je oštećena, te postaviti tikovinu na palubu i zaštititi vanjsku oplatu odgovarajućim sredstvima. To je složen posao koji zahtjeva znanja, vještine i iskustva inženjera brodogradnje, a sve u cilju da se što učinkovitije i preciznije obavi predviđeni zadatak. Više o dovođenju jedrilice u plovidbeno stanje slijedi u nastavku.

## 2. PRIPREMA I POSTAVLJANJE TIKOVINE NA PALUBU

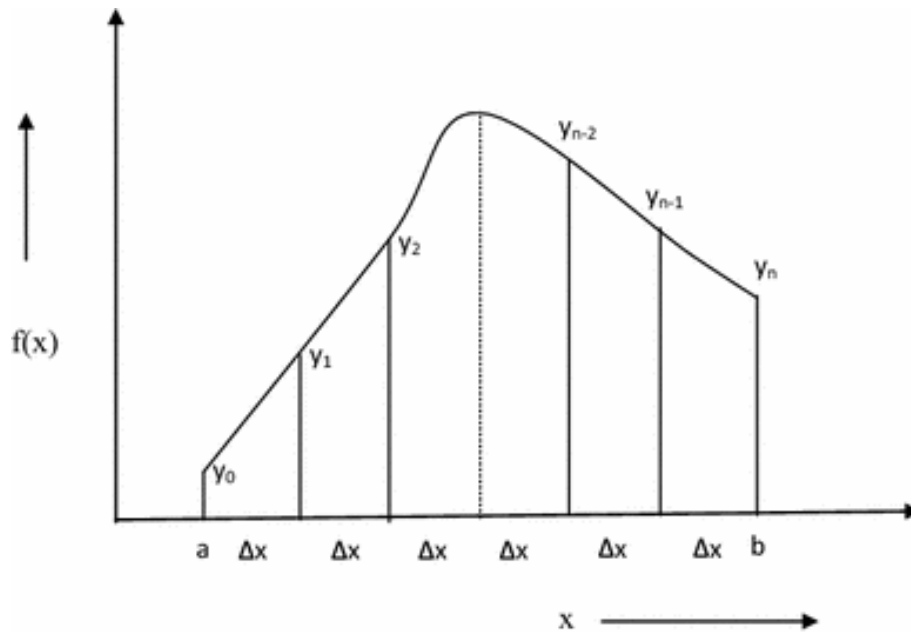
Prije samog postavljanja tikovine na palubu potrebno je odrediti površinu palube, odrediti količinu materijala koji će biti potreban i pripremiti materijal kako bi postavljanje bilo što uspješnije. Na *slici 2.1.* prikazana je krmena i pramčana paluba drvene jedrilice na koju će biti postavljena tikovina.



*Slika 2.1. Paluba drvene jedrilice – slikano u prostoru edukativne radionice „Torpedo“*

### 2.1. Površina palube

Površina palube dobit će se primjenom Simpsonovog pravila. Simpsonovo pravilo se u brodogradnji koristi kao metoda numeričkog integriranja za izračunavanje površina i volumena nepravilnih oblika, gdje je površina omeđena parabolom drugog stupnja. Za odrediti parabolu potrebne su tri točke, odnosno ordinate  $y$ , gdje su koeficijenti Simpsonovog pravila prema formuli 1, 4 i 1. Na *slici 2.2.* prikazan je primjer za dobivanje površine nepravilnog oblika preko Simpsonovog pravila.



Slika 2.2. Simpsonovo pravilo za dobivanje površine [5]

Ukupna površina se računa prema izrazu (2.1.):

$$A = \frac{\Delta x}{3} * [(y_0 + 4y_1 + y_2) + (y_2 + 4y_3 + y_4) + \dots + (y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n)], m^2 \quad (2.1.)$$

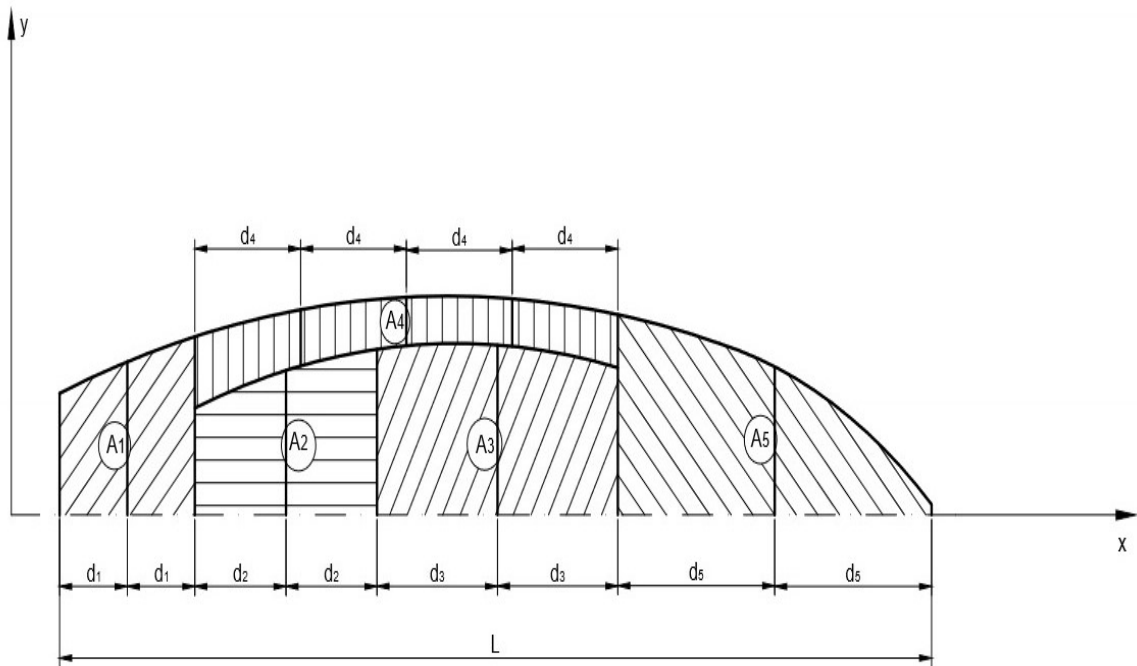
ili kada se sve zagrade srede:

$$A = \frac{\Delta x}{3} * (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + \dots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n), m^2 \quad (2.2.)$$

gdje je:

- $\Delta x = d = \frac{b-a}{n}$ , m – udaljenost između ordinata,
- $y_0, y_1, \dots, y_n$ , m – ordinate.

Preko nacрта vodnih linija jedrilice odredit će se ukupna površina  $A$ , tako što se polovica površine palube podijeli na pet dijelova. Svaki dio površine mora imati paran broj dijelova  $n$ , jednake udaljenosti  $d_i$ , i neparan broj ordinata  $y_i$  (slika 2.3.). Zatim se za svaki dio izračuna njegova površina tako što se veličine ordinata, očitane u tom djelu, množe sa koeficijentima Simpsonovog pravila i sa dužinom  $d_i$ . Prema formuli svaka parna ordinata ima koeficijent 2, svaka neparna ima koeficijent 4, a prva i zadnja ordinata imaju koeficijent 1. Na kraju će zbroj površina svakoga dijela dati ukupnu površinu polovice palube. Pošto su polovice palube simetrične, ukupna površina palube se dobije tako što se polovica površine pomnoži sa dva.



Slika 2.3. Nacrt linija drvene jedrilice – nacrtano u AUTOCAD-u

Prema Simpsonovoj formuli (2.1.) za  $A_1$ :

$$d_1 = 0,45 \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{0,45}{3} * (0,5 + 4 * 0,63 + 0,73) = 0,56 \text{ m}^2$$

Za  $A_2$ :

$$d_2 = 0,6 \text{ m}$$

$$A_2 = \frac{0,6}{3} * (0,44 + 4 * 0,6 + 0,68) = 0,7 \text{ m}^2$$

Za  $A_3$ :

$$d_3 = 0,8 \text{ m}$$

$$A_3 = \frac{0,8}{3} * (0,68 + 4 * 0,7 + 0,6) = 1,09 \text{ m}^2$$

Za  $A_4$ :

$$d_4 = 0,7 \text{ m}$$

$$A_4 = \frac{0,7}{3} * (0,3 + 4 * 0,23 + 2 * 0,2 + 4 * 0,19 + 0,22) = 0,6 \text{ m}^2$$

Za  $A_5$ :

$$d_5 = 1,04 \text{ m}$$

$$A_5 = \frac{1,04}{3} * (0,83 + 4 * 0,61 + 0,04) = 1,15 \text{ m}^2$$

Ukupnu površina palube iznosi:

$$A = 2 * \Sigma A_i = 8,2 \text{ m}^2$$

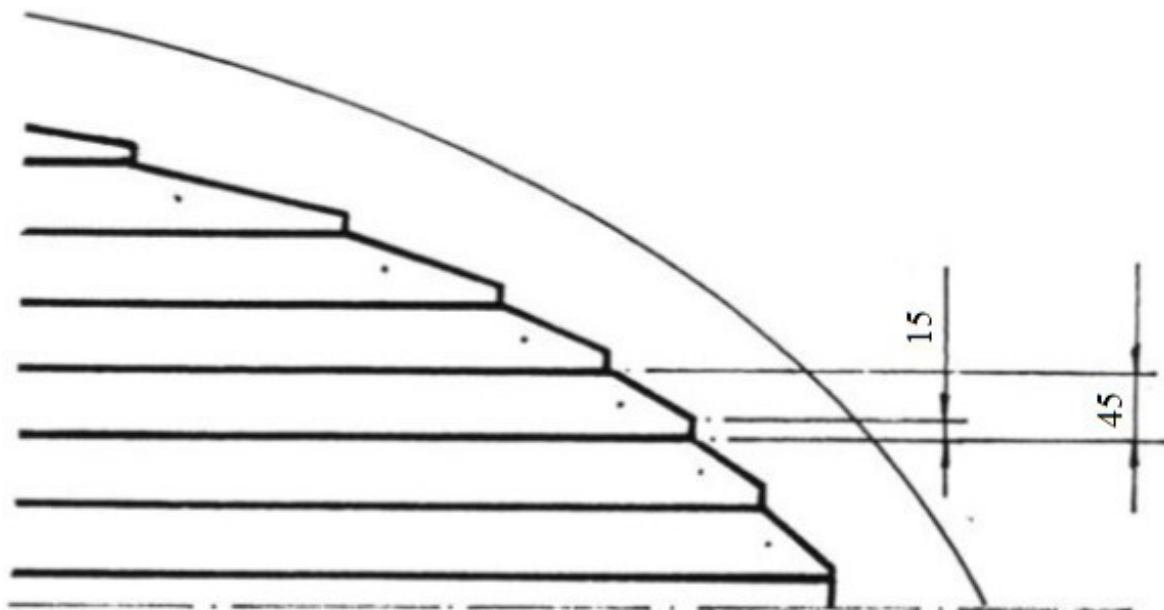
## 2.2. Priprema materijala prije postavljanja na palubu

Nakon što su se odredile dimenzije i površina palube, kreće se sa pripremom materijala koji će se koristiti na površini palube. Materijali koji će se koristiti na palubi su:

- trenice od tikovine,
- ljepilo,
- crno brtvilo.

### 2.2.1. Priprema trenica od tikovine

Za debljinu trenica od tikovine uzima se ovisno o dužini jedrilice, u ovom slučaju dužini od 5,80 m, i materijalu od kojega je izrađena paluba. Paluba jedrilice je napravljena od vodonepropusne šperploče gdje se za debljinu trenica uzima 10 mm. Širina ovisi o načinu postavljanja trenica na palubu, pa ako se trenice postavljaju na palubu paralelno sa simetralom jedrilice uzima se širina od 45 mm, a ako trenice prate liniju ruba palube ili razme moraju biti nešto uže, 30 mm, kako ne bi pukle prilikom njihovog savijanja. Dužina jedne bi trebala biti do 3,6 m jer trenicama dužim od toga se teško rukuje kada se lijepe na palubu. Odabranim načinom postavljanja trenica od tikovine biti će definiran izgled palube. Na *slici 2.4.* prikazan je odabrani način postavljanja trenica na palubu jedrilice, gdje je mjera širine trenica dana u milimetrima. [6]



Slika 2.4. Slaganje trenica na palubu paralelno simetrali jedrilice [6]

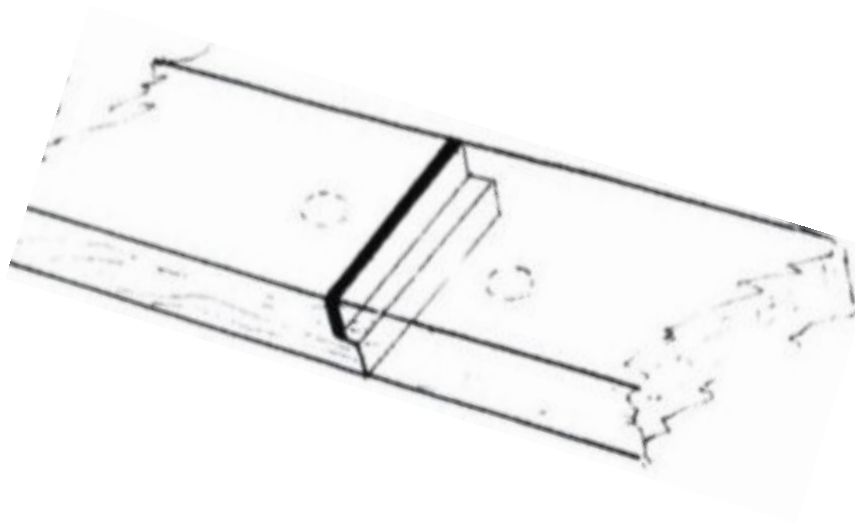
Nakon što se odabrao željeni oblik postavljanja trenica, one se mogu rezati i oblikovati kružnom pilom kako bi se što točnije dobio željeni presjek i dužina trenice. Trenice se mora zatim izbrusiti da površina budu što glatkija. Kod brušenja trenica može se koristiti, ovisno o području koje se brusi, kutna brusilica, brusilica s neprekinutom trakom ili rotacijskom brusilicom s brusnim diskom određenog promjera i brzine okretaja u minuti. Nakon brušenja, trenice treba proći sa suhom krpom kako bi se očistila nastala prašina. Vrhovi trenica definiraju se neposredno prije postavljanja na palubu pomoću dljeteta i ručne pile. [6]

Presjeci trenica mogu biti različiti, a razlikuju se po načinu slaganja trenica, nanošenju brtvila u utore između trenica, vremenu izrade i potrošnji tikovine. Odabir između presjeka trenica prepušta se izvođaču radova, a u slučaju jedrilice se odabrao presjek prikazan na slici 2.5. [6]



Slika 2.5. Oblik presjeka trenica palube [6]

Poželjno je i da trenica prilikom postavljanja bude sačinjena od jednog cijelog komada tikovine i da je time neprekinuta, ali nekada to nije moguće ovisno o veličini plovila. Onda se trenice moraju i mogu spajati uzdužno (*slika 2.6.*). Treba biti što je manji mogući broj uzdužno spojenih trenica. [6]



*Slika 2.6. Uzdužni prikaz spajanja trenica [6]*

Kod takvoga preklopnog spoja (*slika 2.6.*), presjek se izreže do pola debljine trenice i jednake dužine na krajevima uporabom kružne pile. Što se trenice više preklapaju, to je preklopni spoj jači. Na nastale presjeke se nanosi vodootporno ljepilo, spoje se dvije trenice i čvrsto ih se stegne sve dok se ljepilo ne osuši. Zatim se na obje strane trenica, na udaljenosti 20 mm od uzdužnog presjeka, stavlja vijak za dodatnu čvrstoću spoja, čija se glava pokriva čepom koji je od istog materijala kao trenica. [6]

### 2.2.2. Ljepilo

Površine koje se namjeravaju lijepiti moraju biti dobro izbrušene, te nakon toga očišćene, bez masnoće i prljavštine. Ljepila moraju biti otporna na vlagu i toplinu. Za ljepilo koje će se nanijeti na palubu kako bi se pričvrstila sa tikovinom može se koristiti lagano tiksotropno ljepilo sikaflex – 298 FC (*slika 2.7.*).





Slika 2.7. Sikaflex – 298 FC [7]

To je jednokomponentno poliuretansko ljepilo, koje je učinkovito za lijepljenje trenica od tikovine na vodonepropusnu palubu. Otvrđnjava reakcijom s vlagom, koju može upiti iz zraka, šupljikavih podloga ili se prije njegovog nanosa rasprši vodena maglica. Prema detaljima o proizvodu, potrošnja takvog ljepila je  $1 \text{ kg/m}^2$ . Tim podatkom se odredi koliko će biti potrebno nanijeti ljepila na palubu tako što se pomnoži potrošnja ljepila sa površinom palube, odnosno za lijepljenje palube od  $8,2 \text{ m}^2$  biti će potrebno potrošiti  $8,2 \text{ kg}$  ljepila. [8]

Prednosti ljepila:

- jednokomponentno,
- elastičnost,
- ne sadržava zapaljiva otapala,
- dobra zvučna izolacija.

### 2.2.3. Crno brtvilo

Na kraju radova na palubi će se nanijeti crno brtvilo, odnosno jednokomponentna smjesa kojom se popunjavaju spojevi između trenica i koja stvara čvrstu i fleksibilnu trajnoelastičnu masu kada dođe u doticaj s vlagom iz zraka. Spojevi moraju biti dobro očišćeni i suhi prije nanosa brtvila, a

vlažnost tikovih trenica ne smije biti veća od 12%. Brtvilo je nekorozivan na svim površinama zbog svoje neutralnosti uslijed stvrdnjavanja, te kada otvrdne ima izvrsnu temperaturnu stabilnost i kemijsku otpornost. Koliko će se količinski potrošiti za popunjavanje spojeva ovisi o gustoći elastičnog brtvila i ukupnom volumenu presjeka spojeva trenica, a određuje se prema izrazu (2.3.):

$$m = \rho * V, \text{ kg} \quad (2.3.)$$

gdje je:

- $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$  – gustoća brtvila,
- $V = (a \times b) * L, \text{ m}^3$  – volumen presjeka spoja trenica.
  - $a = 6 \text{ mm}$  – širina presjeka spoja,
  - $b = 6 \text{ mm}$  – debljina presjeka spoja,
  - $L = \Sigma l_i, \text{ m}$  – ukupna dužina presjeka spoja svih trenica.

$$m = \rho * V = 1200 * 0,0032 = 3,8 \text{ kg}$$

Za popuniti spojeve između trenica biti će potrebno potrošiti oko 3,8 kg crnoga brtvila.

### 2.3. Postavljanje tikovine na palubu

Prije nego se počne sa nanošenjem ljepila i prije postavljanja trenica, treba pripremiti površinu palube. Ona mora biti čista i suha kako bi ljepilo što bolje prianjalo za njezinu površinu. Najprije se očisti površina palube kako nečistoće ne bi prodrle u materijal prilikom brušenja. Paluba se prođe sredstvom za čišćenje ili sa otapalom i obriše suhom krpom prije nego što se sredstvo osuši. Nakon brušenja se ukloni nastala prašina. [9]

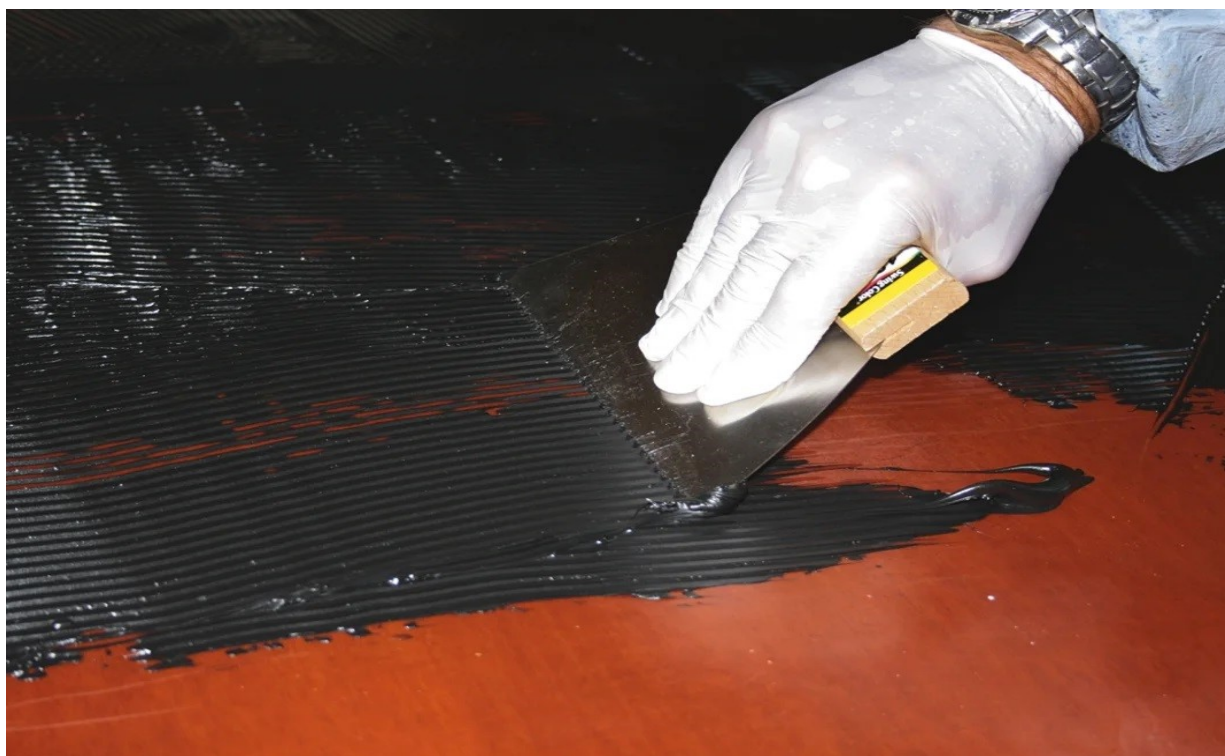
Također, neposredno prije nanošenja ljepila, trenice se prođu sa čistim acetonom jer je tikovina masna vrsta drva. Aceton će osušiti ulje s površine i omogućiti bolju vezu sa ljepilom nakon što ispari. [9]

Nakon što se paluba temeljito izbrusila i očistila od svih nečistoća, oblikovane i podrezane trenice se postave na palubu kako bi se prilagodile mjestu na kome će biti i označe. Treba voditi računa da uzdužni presjek jedne trenice (*slika 2.6.*), ukoliko postoji, ne smije biti na istom uzdužnom presjeku druge, susjedne, trenice. [9]

Trenice se mogu stavljati na palubu pojedinačno, trenica po trenica, ili se može više tikovih trenica spojiti sa čvrstom podlogom, odnosno pločom, čime se dodatno stabilizira materijal. To je od velike koristi u ovoj vrsti primjene jer:

- što se materijal manje pomiče, to će spojevi biti stabilniji,
- zahtjeva manje održavanja i mogućih problema na putu tokom postavljanja,
- učinkovitiji je za ugradnju,
- podloga daje izvrsnu površinu za kasnije lijepljenje.

Nakon što su se postavile i prilagodile površini palube, trenice se maknu i može započeti premazivanje palube ljepilom. Ljepilo se nanosi na površinu palube i zaglađuje nazubljenom lopaticom, gdje treba obratiti posebnu pažnju da u toj masi ne ostaju mjehurići zraka (*slika 2.8.*).  
[8]



*Slika 2.8. Nanos ljepila na palubu [10]*

Nakon što se ljepilo razmaže po jednom djelu palube može se započeti sa slaganjem trenica paralelno simetrali jedrilice (*slika 2.4.*). Slaže se tako da se krene od sredine palube prema bokovima, uz pomoć klinova i stolarskih stezaljki ili nekih drugih pogodnih pomagala. Kada se

postave sve trenice na jednoj strani jedrilice još ih se dodatno pritisne nekom vrstom utega, te ih se ostavi pod tim teretom dok se ljepilo ne otvrdne. Količina lijepila mora biti takva da se, prilikom pritiska utega na površinu, iz spoja istisne samo mali dio te smjese lijepila, što ukazuje da je ljepilo postiglo dobar kontakt između trenica i palube. Taj višak oko rubova trenica se zatim sastruže prije nego što ljepilo otvrdne. Takav postupak se ponavlja i za drugu stranu jedrilice, pri čemu nije potrebno čekati da ljepilo otvrdne na prethodnoj strani. Uz rub cijele palube se pustit malo mjesta kako bi se postavila tikova trenica koja će pratiti liniju ruba palube, razmu. [6]

Za dodatnu čvrstoću trenica, nakon što su se postavile na palubu, mogu se upotrijebiti vijci. Kako bi utori koji će se izbušiti svugdje bili jednaki, na svrdlo se ugrađuje graničnik. Promjer svrdla mora biti manji od promjera vijka. Vijci se postavljaju na početak, sredinu i kraj trenice, te se unaprijed mora odrediti razmak između njih. Kod ravnih trenica razmak ne smije biti manji od 1,5 m, a kod savijenih trenica koje prate razmu, vijke treba postaviti tamo gdje situacija zahtijeva. [6]

Kada se montiraju svi vijci, na njihove glave se stavljaju čepići koji su od istog materijala kao i trenice. Čepići neće biti u ravnini sa trenicom pa će ih biti potrebno rezati sa dlijetom sve dok se ne poravnaju ravnine čepa i trenice (*slika 2.9.*). [6]



*Slika 2.9. Ravnanje čepića sa ravninom trenice pomoću dlijeta [11]*

Na kraju postavljanja trenica od tikovine na palubu, potrebo je popuniti sve spojeve između trenica crnim brtvilom (*slika 2.10.*). Potrebno ih je u cijelosti popuniti do dna, sve dok jednokomponentna smjesa ne izviri iz fuge. Prilikom brtvljenja treba izbjegavati zaustavljanje ili promjene smjera nanosa smjese jer bi moglo doći do stvaranja mjehurića zraka. [11]



*Slika 2.10. Brtvljenje trenica palube [11]*

Višak brtvila se utiskuje i uzima lopaticom kako bi površina između trenica i smjese brtvila bila u ravnini što će pomoći kod kasnijeg brušenja. Najvažnije kod prelaska lopaticom između brtvljenih spojeva je da će istisnuti zrak u šupljinama izaći van, što će omogućiti dobro i čvrsto spajanje na rubovima trenica. Radna temperatura prilikom brtvljenja bi trebala biti između 5 °C i 33 °C. Trajnoelastična masa se neće osušiti ako je prehladno, a u slučaju previsokih temperatura na neosušenoj masi se mogu stvoriti mjehurići. [11]

Kada se završilo sa brtvljenjem spojeva trenica, potrebno je pričekati minimalno 48 sati da se trajnoelastična masa osuši kako bi mogao započeti proces brušenja i čišćenja palube od viška brtvila koje se izlilo van prilikom prijelaza lopaticom između spojeva trenica. Tijekom brušenja



palube koristi se isključivo vibracijska brusilica koja će idealno izbrusiti sve neravnine i nečistoće na njezinoj površini (slika 2.11.). [11]



*Slika 2.11. Brušenje palube brusilicom [12]*

Čvrstoća spoja tikovih trenica i palube na kraju će ovisiti o:

- čvrstoći ljepila – pažljivo odmjeravanje i korištenje lijepila osigurati će da otvrdne do pune čvrstoće,
- pripremi površine – za najbolje prijanjanje i prijenos opterećenja, površina mora biti pravilno pripremljena,
- području spoja – područje spajanja ili lijepljenja mora biti primjereno za očekivano opterećenje.

U tablici 2.1. prikazani su svi potrebni materijali koji su se koristili na palubi od šperploče.

Tablica 2.1. Tablica sa svim materijalima za palubu

MATERIJALI		DIMENZIJE (dužina x širina x debljina)	KOLIČINA
Trenice od tikovine (poprečni presjek spoja 6 x 6, mm)	Paluba	300 x 45 x 10 mm	4 komada
		700 x 45 x 10 mm	2 komada
		800 x 45 x 10 mm	15 komada
		1200 x 45 x 10 mm	10 komada
		1400 x 45 x 10 mm	12 komada
		1600 x 45 x 10 mm	4 komada
		1700 x 45 x 10 mm	12 komada
		1900 x 45 x 10 mm	2 komada
		2000 x 45 x 10 mm	1 komad
	Kokpit	200 x 45 x 10 mm	10 komada
		600 x 45 x 10 mm	2 komada
		1000 x 45 x 10 mm	11 komada
		1600 x 45 x 10 mm	15 komada
	Ljepilo (Sikaflex - 298 FC)		/
Crno brtvilo		/	3,8 kg

### 3. ZAŠTITA VANJSKE OPLATE JEDRILICE

#### 3.1. Materijal vanjske oplata i metoda kojom je napravljena

Drvo, kao konstrukcijski materijal u brodogradnji, ima nekoliko prednosti u odnosu na druge materijale:

- manju cijenu od drugih materijala,
- najveći koeficijent kvalitete, odnosno najveći omjer između čvrstoće i volumne mase. To znači da će konstrukcija od drva, ako ima istu čvrstoću i dimenzije kao konstrukcija od drugog materijala, biti najmanje mase ili kada su jednake mase i dimenzije, drvena konstrukcija će imati najveću čvrstoću,
- najveću otpornost na zamor materijala, tj. na smanjenje mehaničkih svojstva uslijed snažnih dinamičkih opterećenja,
- estetske značajke i vizualni ugođaj,
- kvalitetnija kemijska, akustična i galvanska svojstva tako da nema problema sa korozijom, osmozom i kondenzacijom. [13]

Međutim nije svaki tip drva prikladan za konstrukciju plovila u brodogradnji. Ono mora imati određene potrebne značajke kao što su:

- dobra čvrstoća sa malom težinom,
- žilavost,
- trajnost drva i mogućnost impregnacije,
- estetske kriterije (tekstura, boja, smjer vlakana),
- dobra savitljivost,
- otpornost na utjecaj vlage, itd. [14]

U *tablici 3.1.* prikazane su pojedine značajke više vrsta drva koje se mogu koristiti kao materijal za izradu elemenata trupa plovila.



Tablica 3.1. Osnovne značajke pojedinih drva za elemente trupa plovila [15]

Komerrijalni naziv	Podrijetlo (1)	Botanički naziv (2)	Gustoća, kg/m <sup>3</sup>	Prirodna trajnost (3)	Mogućnost impregna- cije (3)	Mehaničke značajke (4)			
						R <sub>f</sub> N/mm <sup>2</sup>	E <sub>f</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>c</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>s</sub> N/mm <sup>2</sup>
DOUSSIE	Afrika	Azalia spp	800	A	4	114	16000	62	14,0
IROKO	Afrika	Chlorophora excelsa	650	A/B	4	85	10000	52	12,0
KAJA	Afrika	Khaya spp	520	C	4	74	9600	44	10,0
MAKORĚ	Afrika	Tieghemella spp	660	A	4	86	9300	50	11,0
MAHAGONIJ	Amerika	Swietenia spp	550	B	4	79	10300	46	8,5
OKUME	Afrika	Aucoumea Kleineana	440	D	3	51	7800	27	6,7
BRIJEST	Europa	Ulmus spp	650	D	2/3	89	10200	43	11,0
HRAST	Europa	Quercus robur e Q. petra- es	710	B	4	125	15600	68	13,0
SAPELI	Afrika	Entandrophragma cylindricum	650	C	3	105	12500	56	15,7
SIPO	Afrika	Entandrophragma utile	640	B/C	3/4	100	12000	53	15,0
TIK	Azija	Tectona grandis	680	A	4	100	10600	58	13,0
HRAST	Europa	Quercus spp	730	B/C	4	120	15000	65	12,6
KESTEN	Europa	Castanea spp	600	B	4	59	8500	37	7,4
CEDAR (Zapadni, crveni)	Amerika	Thuja plicata	380	B/C	3	51	7600	31	6,8
DUGLAZIJA	Amerika	Pseudotsuga menziesil	500	C/D	3/4	85	13400	50	7,8
ARIŠ	Europa	Larix europaea	550	C/D	3/4	89	12800	52	9,4

**Objašnjenje kratica:**

Prirodna trajnost

A = veoma trajno;

B = trajno (najveća dopuštena debljina za izradu ploča od ukočenog drva iznosi 5 mm)

C = srednje trajno (najveća dopuštena debljina za izradu ploča od ukočenog drva iznosi 2,5 mm)

D = slabo trajno (najveća dopuštena debljina za izradu ploča od ukočenog drva iznosi 2 mm)

Mogućnost impregnacije

1 = propustan

2 = ne otporan

3 = otporan

4 = vrlo otporan

**Napomene:**

(1) Područje prirodnog rasta

(2) Botanički naziv (spp = različite vrste)

(3) Razina prirodne trajnosti i mogućnost impregnacije u skladu s normom HRN EN ISO 350/2

(4) Mehaničke značajke sa 12% sadržaja vlage; izvor: "Wood Handbook: wood as an engineering material - 1987, USA"

- Čvrstoća savijanja R<sub>f</sub> (okomito na godove)

- Modul elastičnosti uslijed savijanja E<sub>f</sub> (okomito na godove)

- Vlačna čvrstoća R<sub>c</sub> (paralelno s godovima)

- Smična čvrstoća R<sub>s</sub> (paralelno s godovima).

Materijal vanjske oplata kod jedrilice je ariševina (gustoća 550 kg/m<sup>3</sup>). Ariš je čvrsto i žilavo drvo, ali i fleksibilno u tankim trakama. Lako je obradivo i ima dobru otpornost prema impregnaciji.

Vanjska oplata osigurava nepropusnost, uzdužnu čvrstoću i krutost konstrukcije trupa. Izrađena je metodom pomoću kalupa, gdje je kalup točan prikaz trupa. Na slici 3.1. prikazana je vanjska oplata jedrilice.



*Slika 3.1. Vanjska oplata jedrilice – slikano u prostoru edukativne radionice „Torpedo“*

Metoda pomoću kalupa traži gotovi oblik trupa na koji će se slagati trake furnira obložene epoksidnom smolom. Trake furnira trebaju biti jednake debljine s ravnim rubovima, čija se vrsta drva pažljivo bira i koja mora biti dovoljno osušena kako ne bi pucala prilikom savijanja. Prilikom izgradnje nastaju naprezanja zbog kojih kalup mora biti dovoljno čvrst. Za gradnju vanjske oplata se može koristiti kalup koji je napravljen od uzdužno postavljenih letvica koje su postavljene preko poprečnih rebara gdje se, ovisno o razmaku letvica, može pokriti samo 40 – 50% površine kalupa ili se za gradnju može koristiti kalup koji ima punu vanjsku oplatu. [16]

Kalup se izradi tako da se najprije napravi montažno postolje potrebne visine da se plastificiranje izvede bez poteškoća. Na zadanom razmaku se na to postolje montiraju rebra koja, u odnosu na postolje, moraju biti pod 90°. Nakon što se kalup izradio i osušio, cijela se njegova površina kita i brusi. Brušenje se vrši sa odgovarajućim brusnim papirom. Najsloženiji kalup za gradnju vanjske oplata primjenjuje vakuumske postupak, gdje se vakuumom ostvaruje slaganje slojeva furnira. Lakše je napraviti kalup od razmaknutih letvica. Poslije se može napraviti utor za kobilicu jedrilice, kod kojeg je potrebno obratiti pozornost na spoj kobilice i pramčane statve, te na širinu statve zbog laminiranja. [16]

Nakon što se napravio kalup može se započeti sa izradom trupa. Ovisno o kvaliteti i boji, na kalup se stavljaju slojevi furnira, širine 150 – 300 mm i debljine oko 3 mm, koji moraju biti kvalitetno obrađeni. Kvalitetniji furnir se postavlja za prvi ili zadnji sloj. Prvi se sloj slaže počevši od sredine kalupa, gdje se trake furnira najčešće slažu pod kutom od 45°. Rubovi trake furnira se premazuju epoksidnom smolom kako bi se na nju mogla staviti sljedeća traka. Kako bi traka furnira ostala na mjestu koriste se spajalice koje traku pričvršćuju uz kalup. Zatim se stavljaju susjedne trake dok se ne stigne do pramčane i krmene statve. Kada se završio prvi sloj izvade se spajalice, te se uklanja višak epoksidne smole. Nakon toga se započinje sa postavljanjem drugog sloja traka furnira koji se slažu isto u koso, ali u suprotnom smjeru od prvog sloja. Zatim se na drugi sloj stavljaju spajalice koje prolaze i kroz prvi sloj, a završavaju u kalupu. Istim načinom slaganja sljedećih slojeva dolazi se do zadane debljine trupa, čija je debljina vanjske oplata 12 – 25 mm. Spajalice moraju biti napravljene od nehrđajućeg čelika, te ih je radi lakšeg vađenja potrebno ukloniti prije otvrdnjavanja epoksidne smole. Nakon što se završilo sa slaganjem slojeva traka furnira započinje se sa zaglađivanjem i brušenjem vanjske oplata. [16]

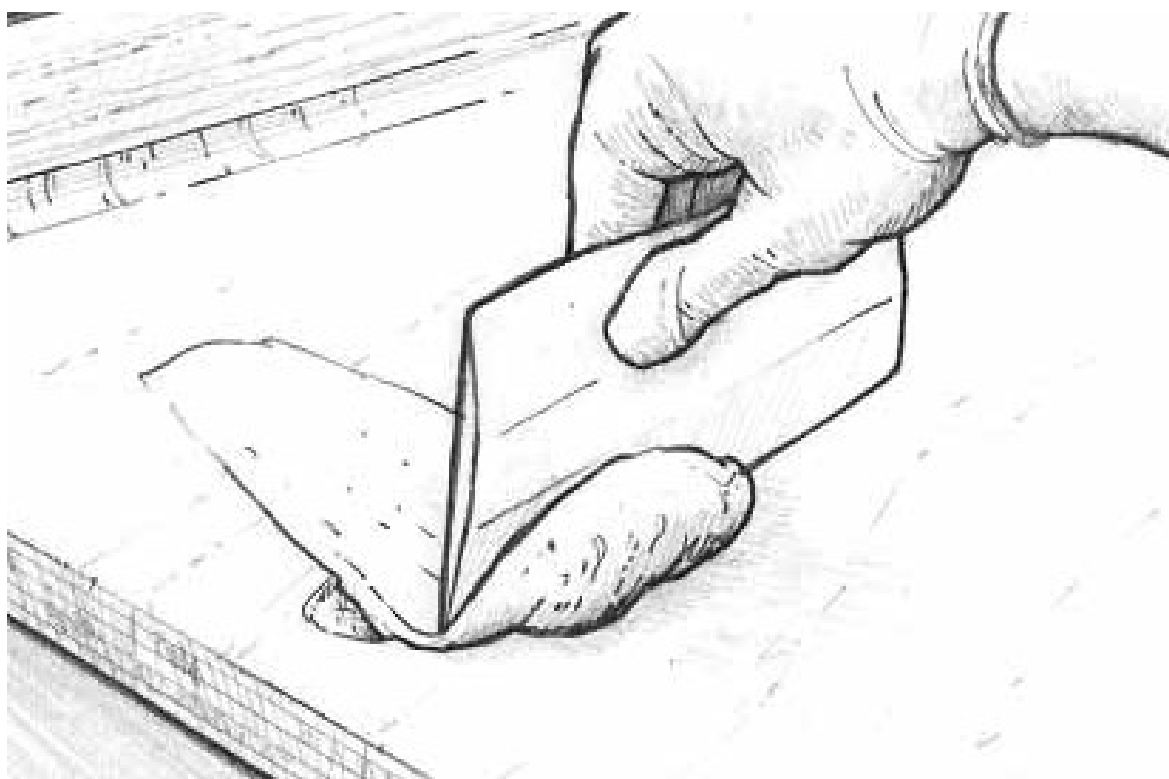
Metoda izrade vanjske oplata pomoću kalupa je jedna od starijih metoda koja se sada rijetko koristi. Koristi se samo u izgradnji manjih plovila, do osam metara, zbog visoke cijene materijala pri izradi jednog plovila. Međutim, velika prednost ove metode je što se može izgraditi veći broj istih trupova upotrebom jednog kalupa. [16]

### **3.2. Metode zaštite vanjske oplata**

#### **3.2.1. Zaštita epoksidnom smolom**

Jedna od učinkovitih zaštita je premaz vanjske oplata sa dvokomponentnom epoksidnom smolom. Ona se sastoji od smole i otvrdnjivača koji se miješaju, u odgovarajućem omjeru, u plastičnoj posudici. Vodootporna je, otporna na zamor i vlagu, te je izvrsno vezivno sredstvo za širok raspon površina. Za stvaranje prozirnog premaza epoksidnom smolom, površinu vanjske oplata je potrebno temeljito pripremiti. Ona mora biti suha, čista i bez bilo kakvih nečistoća radi boljeg prijanjanja zaštitnog premaza na nju. Onečišćene površine se čiste acetonom ili drugim odgovarajućim otapalima i prije nego što se otapalo osuši treba ih obrisati suhom krpom. Zatim se vanjska oplata brusi i usisava se nastala prašina kako ne bi došlo do kasnijeg stvaranja mjehurića ili nekog drugog oštećenja kvalitete premazom. [17]

Također, ukoliko vanjska oplata ima udubljenja ili šupljikave površine potrebno ju je kitati kako bi se te neravnine ponovno izjednačile sa njezinom okolnom površinom. Za ravnanje, odnosno popunjavanje, udubljenja ili šupljina može se upotrijebiti epoksidna smola u koju se dodaju punila male gustoće. Punila služe za povećanje gustoće i poboljšanje specifičnih svojstava kao što je ravnanje površine. Nanese se mala količina smjese epoksidne smole i punila, koja se plastičnom lopaticom utrlja u sve neravnine na površini trupa (*slika 3.2.*). Zaglađuje se do željenog oblika i uklanja višak smjese prije stvrdnjavanja. Nakon što je smjesa otvrdnula prođe se brusnim papirom oko područja kitanja kako bi se to područje izjednačilo s okolnom površinom vanjske oplata. [9]



*Slika 3.2. Kitanje šupljine pomoću plastične lopatice [9]*

Kada površina vanjske oplata bude potpuno pripremljena, može se započeti sa nanošenjem epoksidne smole na nju. Dobro se pomiješani omjer smole i otvrdnjivača, te se prvi sloj zaštite ravnomjerno nanosi na površinu pomoću valjka (*slika 3.3.*). Što se bolje pomiješa smjesa to se dobije bolji premaz. Greške u nedovoljnoj izmiješanosti dvokomponentne smjese ili krivo nanesenom omjeru u plastičnu posudicu rezultirati će lošim svojstvima otvrdnute epoksidne smole. [17]

Kako bi epoksidna smola što bolje i dublje prodrla u drvo, prvi sloj premaza bi trebao biti manje viskoznan od drugih. Smola se zatim još dodatno uglađuje plastičnom lopaticom kako bi površina ostala ravna i bez mjehurića zraka. Potrebno je nanijeti više tanjih slojeva, umjesto jednog debelog. Ukoliko prvi sloj bude poprilično grub, treba pustiti da se osuši i zatim ponovno izbrusiti površinu vanjske oplata dok ne postane glatka kako bi se nanio sljedeći premaz. [17]



*Slika 3.3. Zaštita vanjske oplata epoksidnom smolom [17]*

Kada se prvi sloj epoksidne smole osuši do te mjere da postane ljepljiv na dodir, može se započeti sa nanosom drugog sloja. Da se izbjegne brušenje između svakoga sloja potrebno je sljedeći sloj nanijeti prije nego prethodni bude neljepljiv, odnosno prije nego otvrdne. Što je više slojeva to je veća zaštita od vlage, a idealna bi bila četiri slojeva zaštite. Najpovoljnija temperatura sušenja epoksidne smole je 25 °C, a vrijeme potrebno za to sušenje završnog sloja je 24 sata. Završni sloj epoksidne zaštite dati će glatku i sjajnu površinu, te zaštititi jedrilicu od vlage. Veliku ulogu u kvaliteti gotovog premaza može imati i radno okruženje, gdje je važno da temperature drva, epoksida i radnog mjesta budu slične. [17]

Nakon što se završni sloj epoksidne smole osušio i otvrdnuo, odgovarajuće zaštite kao bojanje ili lakiranje dati će dodatnu ljepotu i zaštitu od ultraljubičastih zraka koje bi s vremenom razgradile epoksidnu smolu. [9]

Odgovarajuće vrste zaštitnih boja ili lakova koji se koriste su:

- alkidne,
- akrilne,
- poliuretanske (jednokomponentne ili dvokomponentne),
- epoksidne, itd.

Takva daljnja zaštita produljuje epoksidnoj smoli zaštitu od vlage koja, zauzvrat, omogućuje čvrstu bazu tako što produžava život zaštite bojanjem ili lakiranjem. Zaštita vanjske oplata epoksidnom smolom i bojanjem ili lakiranjem skupa čine zaštitni sustav koji je puno trajniji od samih, individualnih slojeva. [9]

### 3.2.2. Zaštita staklenim ojačanjem

Zaštita staklenim ojačanjem vrši se tkaninom od stakloplastike. Ona se nanosi u jednom ili više slojeva na površinu vanjske oplata kako bi se postigao visok stupanj čvrstoće, zaštite i otpornosti prema udarcima i vanjskim utjecajima. Također, nanosi se nakon završetka pripreme površine od nečistoća i kitanja, a prije premazivanja epoksidnom smolom. [9]

Radi lakšeg nanašanja zaštitne tkanine, jedrilica se može okrenuti naopačke. Okretanje se može vršiti pomoću dizalice ili pomoću okvira od šperploče koji je do simetrale jedrilice valjkastog oblika, a s druge strane pravokutnog oblika. Za okretanje jedrilice se većinom koristi okvir od šperploče (*slika 3.4.*). Kod takvog načina okretanja ne dolazi do njezinog oštećenja jer omogućava lagano okretanje jedrilice tako što se samo zarola (*slika 3.5.*). Kada se jedrilica sasvim okrenula (*slika 3.6.*), makne se okvir od šperploče i započinje se sa daljnjom zaštitom. [18]





*Slika 3.4. Jedrilica na okviru za okretanje [18]*



*Slika 3.5. Okretanje jedrilice [18]*



*Slika 3.6. Jedrilica okrenuta naopačke [18]*

Zaštita tkanina se na površinu nanosi dvama metodama:

- „mokra“,
- „suha“.

„Mokra“ se metoda odnosi na stavljanje zaštitne tkanine na površinu vanjske oplata već obloženu epoksidnom smolom nakon što smola postane ljepljiva. To pomaže kod prianjanja na vertikalne površine. Kod ove metode se zaštitna tkanina, prije premaza epoksidnom smolom, treba namjestiti na površinu vanjske oplata i podrezati na potrebnu mjeru. Pošto ova metoda otežava pozicioniranje tkanine od stakloplastike, poželjna metoda je „suha“ metoda, a posebno pri stavljanju tanje tkanine. [9]

„Suha“ metoda se provodi tako što se tkanina od stakloplastike nanosi na suhu površinu vanjske oplata. Prije toga, površina se mora pripremiti kao što se to napravilo kod zaštite epoksidnom smolom. Tkanina od stakloplastike se postavlja i namješta na vanjsku oplatu jedrilice sve dok se tkaninom ne pokrije cijela njezina površina (*slika 3.7.*). [9]





*Slika 3.7. Postavljanje tkanine od stakloplastike „suhom“ metodom [19]*

Ako je veličina jednog komada tkanine veća od površine vanjske oplata, ona se reže tako da bude malo veća od njezine površine, tj. tako da pada malo preko rubova sa svih strana površine vanjske oplata. Suprotno, ako je veličina jednog komada tkanine manja od površine vanjske oplata, potrebno je nanijeti više njezinih komada tako da se međusobno preklapaju na rubovima tkanina. Na okomitim ili nagnutim površinama tkaninu treba, pomoću samoljepljive trake ili spajajući kopčanjem, držati na mjestu. [9]

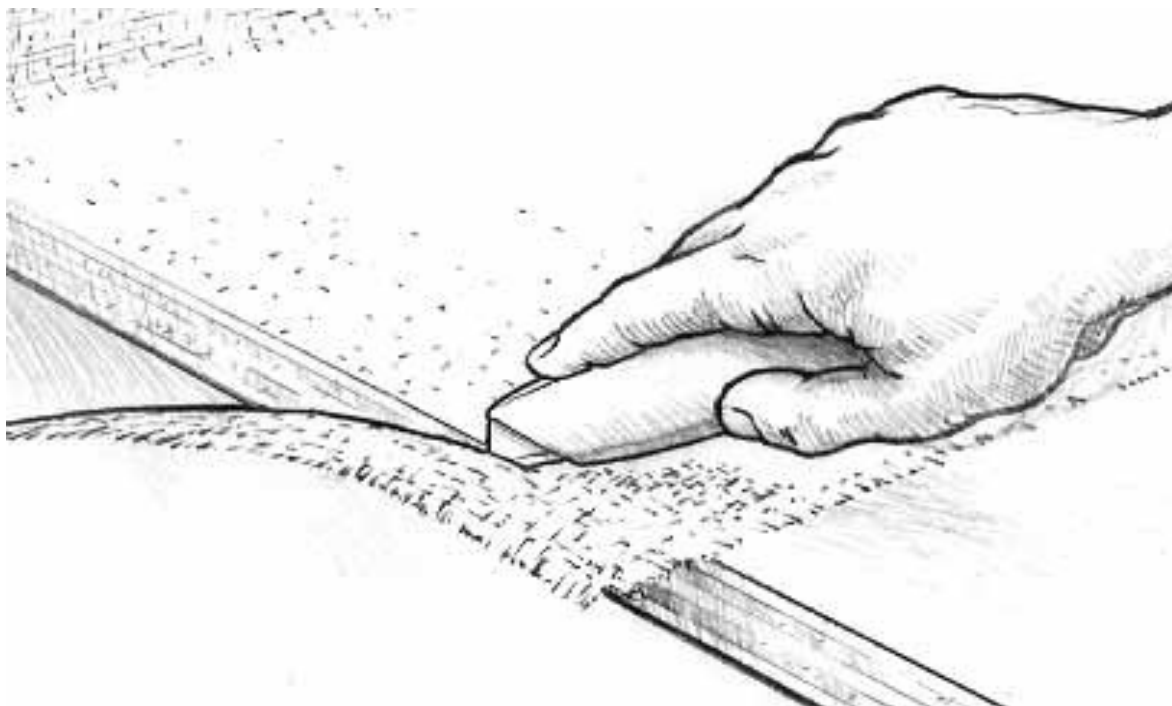
Kada se površina pokrila zaštitnom tkaninom, pomiješa se omjer epoksidne smole i otvrdnjivača. Prvi sloj smjese se ulije na vodoravnim površinama blizu središta tkanine i raspršuje se, nježno nanoseći ulivenu epoksidnu smjesu na suha mjesta (*slika 3.8.*). Za premaz vodoravnih površina se može koristiti plastična lopatica, ali za vertikalne površine, radi vlaženja tkanine, se koristi isključivo valjak. [9]



*Slika 3.8. Raspršivanje epoksidne smjese po površini tkanine [19]*

Ako se tkanina nanosi na šuplju površinu, treba nanijeti dovoljno epoksidne smole da je upije tkanina i šuplja površina ispod nje. Ukoliko se pojave nabori na tkanini, treba podignuti rub tkanine i zagladiti je od središta prema van, te zatim nastaviti sa premazom dok se ne premaže sve do ruba. Pravilno premazana površina tkanine biti će prozirna, a bijela područja znače da je tkanina tamo suha i to mjesto je potrebno ponovno premazati epoksidnom smolom. Također, treba nanijeti dovoljno epoksidne smole da se zasiti tkanina i drvo ispod jer višak može omogućiti tkanini da „ispliva“ s površine vanjske oplata. Ukoliko je nanoseno više epoksidne smole nego što je trebalo, suvišni epoksid se pojavljuje u obliku sjajnih dijelova, a višak se ukloni plastičnom lopaticom prije nego što smola počne otvrdnjavati. Prilikom uklanjanja viška epoksida treba paziti da po površini tkanine bude ravnomjeran pritisak plastičnom lopaticom, kako se ne bi napravila suha mjesta radi prevelikog pritiska lopaticom. [9]

Nakon što se nanijela epoksidna smola na zaštitnu tkaninu, odreže se sav njezin višak na rubovima jedrilice pomoću oštrog skalpela (*slika 3.9.*). [9]



*Slika 3.9. Ravnanje tkanine sa površinom vanjske oplata [9]*

Tkanina će se lako rezati skalpelom sve dok epoksid potpuno ne otvrdne. Preklopni spoj nije potrebno podrezati, već se neravnina između spoja dviju tkanina može ujednačiti sa premazom drugog sloja epoksidne smole pomoću valjka. Također, preklopni spoj dviju tkanina od stakloplastike je čvršći od sučeljenog spoja. [9]

Potrebno je nanijeti više slojeva premaza da se potpuno ispuni zaštitna tkanina. Ukoliko je zadovoljen izgled tkanine nakon premaza prvog sloja, može se započeti sa premazom drugog. Sa drugim slojem se započinje prije nego prvi sloj epoksidne smole dosegne fazu otvrdnjavanja, odnosno prije nego postane potpuno neljepljiv. Za premaz drugog i svakog sljedećeg sloja može se koristiti valjak kako bi se ravnomjerno nanijela epoksidna smola po površini zaštitne tkanine. Za učinkovitu zaštitu od vlage se nanose dva sloja zaštite, a ako se brusi onda tri sloja. Završni sloj se pusti da otvrdne i rezultat bi trebala biti, kao što je prikazano na *slici 3.10.*, prozirna i glatka površina. [9]



*Slika 3.10. Prozirna i glatka površina završnog premaza [20]*

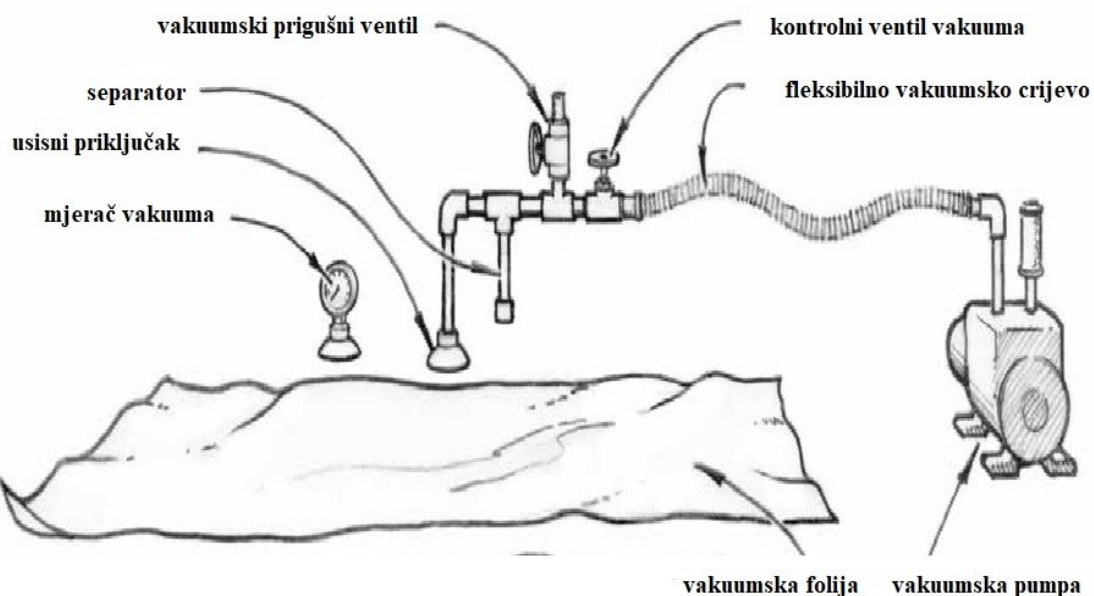
Ukoliko vanjska oplata nakon završnog sloja epoksidne smole još ima neravnina, potrebno ju je izbrusiti vibracijskom brusilicom do glatke površine, pritom pazeći da se ne ošteti tkanina od stakloplastike. Zatim se vanjska oplata ispiri vodom koja treba teći ravnomjerno po njezinoj površini, bez stvaranja kapljica. Ukoliko se dogodi da se voda na njezinoj površini formira u kapljice (znak masnoća), tu površinu je potrebno osušiti i zatim ponovno izvršiti brušenje sve dok se ne eliminira nastajanje kapljica vode. [9]

Nakon što se završni sloj epoksidne smole osuši, vanjsku oplatu je dalje potrebno dodatno zaštititi od štetnog utjecaja ultraljubičastog zračenja koje nakon nekog vremena može uništiti epoksidnu smolu. Za završnu obradu koriste se zaštitne boje ili lakovi, među kojima je dvokomponentni poliuretanski premaz jedan od boljih. Iako skuplji, dobro prianja na otvrdnutu i izbrusenu površinu, te pruža veliku izdržljivost i tvrdoću, dok ujedno zadržava površinu velikog sjaja otpornu na ultraljubičasto zračenje. [9]

### 3.2.3. Zaštita vakuumskim postupkom

Zaštita sa tkaninom od stakloplastike može se izvršiti i vakuumskim postupkom. Vakuumski postupak zaštite idealna je metoda povezivanja dva ili više slojeva materijala koja koristi vakuum za uvođenje smole na vanjsku oplatu jedrilice. Vakuumski postupak je nešto drugačiji od ostalih postupaka zaštite, tj. ima drugačiji pristup jer se vakuum stvara dok su materijali još suhi. Takav postupak osigurava bolji omjer smole i ojačanja, ali je kompliciraniji za provesti od ostalih metoda. Vakuumski postupak zahtjeva, ne samo vakumske cjevovode, nego i cjevovode za smolu kao i produžetke tih cjevovoda unutar vakuumske folije. [21]

Upotrebom vakuumske pumpe i nepropusne plastične folije, koristi se atmosferski tlak kao stezaljka za držanje na mjestu smolom obloženu tkaninu od stakloplastike na površini vanjske oplata dok epoksidna smola ne otvrdne. Pritisak stezanja biti će jednak na svih djelima površine, bez obzira na njenu veličinu, broj slojeva ili oblik. Na *slici 3.11.* prikazan je popis materijala potreban za zaštitu vakuumskim postupkom. [21]



*Slika 3.11. Materijali vakuumske zaštite [21]*

Nakon što se na površinu vanjske oplata nanijela zaštitna tkanina, postavlja se vakuumska folija i reže se na idealnu veličinu. Ona mora biti veća od površine vanjske oplata kako bi se omogućilo

dovoljno prostora za konture bez premošćivanja. Folija se postavlja od sredine prema krajevima vanjske oplata, praveći nabore u foliji svakih nekoliko centimetara. Broj i veličina nabora ovisi o složenosti oblika jedrilice. Usisni priključak se obloži ljepljivom trakom i postavi se na vanjsku oplatu prekrivenu vakuumskom vrećicom, obično sa strane. Prije toga se napravi jedna rupa na vakuumskoj foliji proporcionalna veličini usisnog priključka. Treba voditi računa i da separator smole bude što bliže vakuumskoj vrećici. [22]

Kada je usisni priključak spojen sa folijom može se uključiti vakuumaska pumpa koja će istjerati sav zrak i stvara se vakuum. Kako se stvara vakuum, tako se preko cjevovoda za smolu usisava epoksidna smola na površinu vanjske oplata pomoću podtlaka. (slika 3.12.). Podtlak će je držati na mjestu zajedno sa tkaninom do otvrdnjavanja. Ova metoda nema problema ako je nanesen višak epoksidne smole jer će sav taj višak biti isisan van kroz vakuumske cijevi. Separator skuplja sav višak smole koja se usiše u vakuumski cjevovod prije nego što stigne do ventila ili pumpe i sprječava nakupljanje smole u njemu. Rezultat postupka je da je na vanjsku oplatu nanosena minimalna količina epoksidne smole, što povećava čvrstoću, smanjuje težinu i znatno povećava svojstva epoksidne smole i tkanine od stakloplastike. Vakuumaska folija se ne smije ukloniti sve dok epoksidna smola ne otvrdne. Odgovarajuće vrijeme otvrdnjavanja ovisi o vrsti epoksidne smole kao i o temperaturi okoline radnog prostora. [22]



*Slika 3.12. Stvaranje vakuuma i uvođenje smole [23]*

Nakon što se smola otvrdnula, uklanja se vakuumska folija i započinje se sa brušenjem vanjske oplata dok njezina površina ne bude glatka. U mnogo slučajeva isti se postupak može koristiti i za popravak oštećenja. [22]

Sam proces vakuumskog postupka traje relativno kratko, ali za slaganje sustava cjevovoda, vakuumske folije i zaštitne tkanine potrebno je znatno više vremena. Bez obzira na kompliciraniju izvedbu, ukupno vrijeme trajanja ovog procesa znatno je kraće od ostalih postupaka zaštite trupa jedrilice. [21]

Prednosti vakuumskog postupka:

- bolji omjer smole i zaštitne tkanine,
- manja količina nanese epoksidne smole, što znači manje potrošenog novca,
- neograničeno vrijeme postavljanja materijala ojačanja,
- ekološki čišća metoda,
- lakši i čvršći proizvod.

Nedostaci vakuumskog postupka:

- kompleksna izvedba,
- mogući ulazak zraka u cjevovode za dovod smole prilikom infuzije, što rezultira gomilanje smole ili pak potpuno zaustavljanje toka smole.

Najbolja prevencija mogućih problema kod ove metode je pažljivo planiranje i praćenje protoka smole.



## 4. KOBILICA

Kobilica je glavni uzdužni element konstrukcije drvene jedrilice. Na *slici 4.1.* prikazana je balastna kobilica jedrilice koja je izvedena kao masivna vertikalna peraja opterećena olovnim balastom. [24]



*Slika 4.1. Balastna kobilica jedrilice - slikano u prostoru edukativne radionice „Torpedo“*

Kobilica je izrađena od hrastovine. Kao što je prikazano u *tablici 3.1.*, hrast je vrlo dobar materijal za konstrukciju kobilice. To je čvrsto, žilavo i dugotrajno drvo, gustoće  $710 \text{ kg/m}^3$  koje ima vrlo veliku otpornost prema impregnaciji i dobra mehanička svojstva.

Kobilica je ujedno i najosjetljiviji dio na jedrilici, pa ju je stoga potrebno i zaštititi, a u ovom slučaju i zamijeniti novom jer je navedena kobilica oštećena.



Funkcija balastne kobilice je da:

- povećava stabilnost jedrilice,
- smanjuje bočno zanošenje od vjetra.

Materijal koji se koristi za balast na kobilici je olovo. Masa olova se opire sili vjetra, te time smanjuje mogućnost prevrtanja i spušta težište jedrilice što povećava stabilnost jedrilice. Olovo za isti volumen teži više od ostalih materijala koje se koriste kao balast, pa je radi toga idealni materijal za korištenje na kobilici. Projektant obično definira samo vanjski oblik balasta. [24]

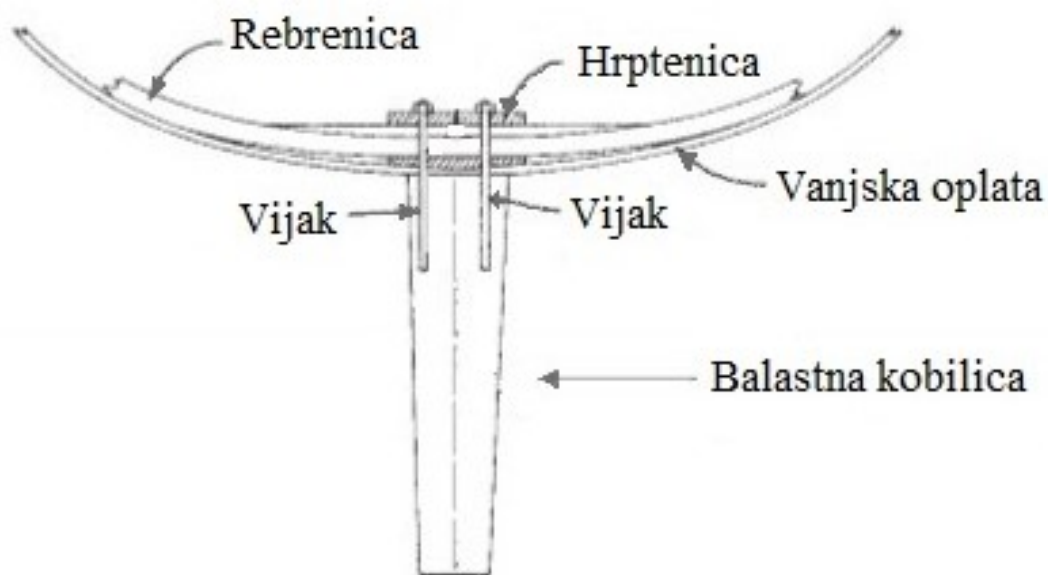
Za izradu olovnog balasta se upotrebljavaju metalna bačva i kalup. Taj kalup za izlivanje mora biti malo veći od budućeg odljevka s obzirom da će se olovo stezati prilikom hlađenja. Na temperaturi tališta, koja je nešto više od 300 °C, olovo se zagrijava u metalnoj bačvi. Kada se rastali, u prethodno pripremljeni kalup, ulije se olovo (*slika 4.2.*) i vadi se iz kalupa nakon što se stvrdne i ohladi. Ukoliko olovo prilikom vađenja ima izbočine, treba se izbrusiti električnom brusilicom kako bi imao što glatkiju površinu prilikom ugradnje na kobilicu. Za brže hlađenje olova, kalup se može ukopati u zemlju. [25]



*Slika 4.2. Izrada olovnog balasta [25]*

Kada se balastna kobilica spaja sa trupom, vrh te kobilice se premaže sa ljepilom (epoksidnom smolom) kako bi se dobila što bolja veza između spajanih dijelova. Prije toga se električnom bušilicom naprave otvori za prihvat vijaka na trupu koji moraju biti paralelni sa vijcima na balastnoj kobilici prilikom postavljanja. Donji rub trupa se treba poklapati sa gornjim rubom balastne kobilice, čineći da spoj bude u punom dodiru. Takvim se izvedenim spojem izbjegnu snažne koncentracije opterećenja na dijelovima trupa neposredno uz vijke i osigurava najpovoljnija raspodjela istog. [9]

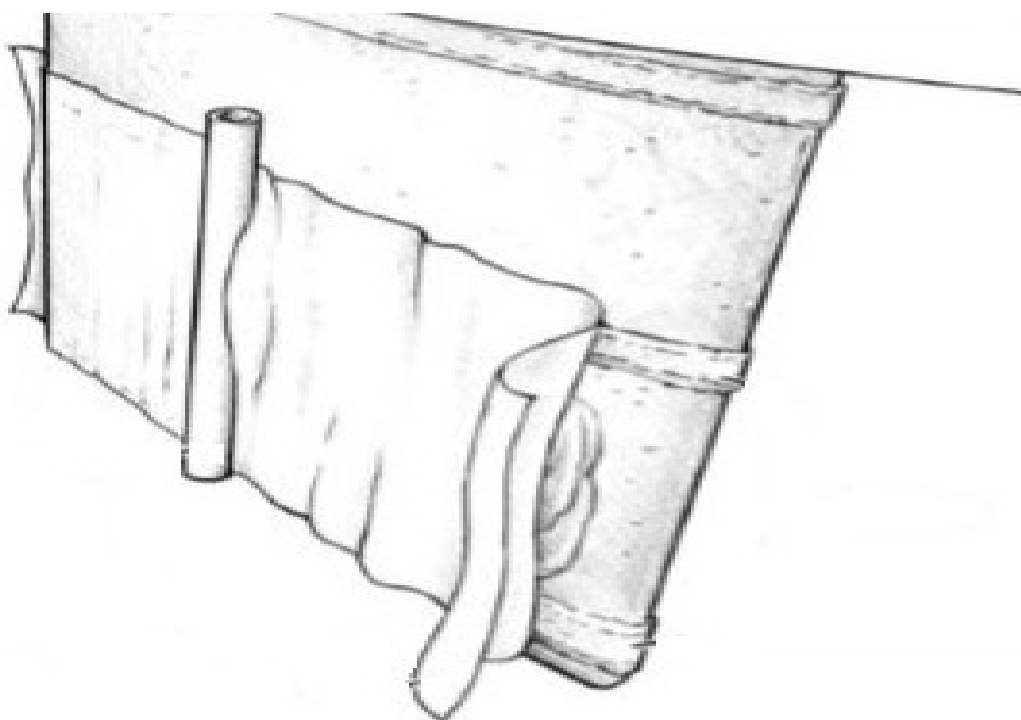
Nakon što su se napravili svi otvori na trupu za prihvat vijaka balastne kobilice, trup se podigne dovoljno visoko kako bi se imalo prostora za ugradnju kobilice. Kada se poravnaju vijci balastne kobilice sa otvorima za prihvat vijka, trup se postavi preko vrha vijaka, gdje se ostavlja mali razmak između trupa i balastne kobilice kako bi mogao započeti premaz ljepilom. Na balastnu kobilicu se nanese dovoljno zgusnutog epoksida da pokrije cijelu površinu spoja. Zatim se trup spoji sa balastnom kobilicom prije nego epoksidna smola otvrdne. Višak ljepila će se istisnuti iz spoja i odstraniti. Za čišćenje ljepila se koristi otapalo i papirnati ručnici. Nakon nanosa ljepila, spoj balastne kobilice i trupa se pričvrsti korištenjem dva reda vijaka koji su postavljeni na vanjskim rubovima balastne kobilice. Vijci moraju biti okomiti na površinu za spajanje balastne kobilice i svaki vijak mora biti paralelan s ostalima, te se u spoju protezati od trupa do kobilice. Kod takve konfiguracije konstruktivnih elemenata (*slika 4.3.*), neizostavno je da vijci prolaze i kroz hrptenicu i rebrenicu. [9]



Slika 4.3. Poprečni presjek kobilice i donjeg dijela trupa [9]

Svaki otvor za vijak, čiji bi promjer trebao biti najmanje tri milimetara veći od promjera vijka, se ispuni do vrha epoksidnom smolom pomoću štrcaljke. Sav višak se ukloni s površine dok smola ne otvrdne. Kada je epoksidna smola u otvorima otvrdnula, vijci se na kraju zatežu maticama unutar trupa kako bi se kobilica dodatno priljubila uz njega. [9]

Prije nego se zaštiti, kobilica se mora izbrusiti da se uklone sve nečistoće kako bi se dobila glatka i čista površina za što bolje prijanjanje zaštite. Kako bi se osiguralo pojačanje, kobilica se može premazati epoksidnom smolom i kasnije pokriti još tkaninom od stakloplastike (*slika 4.4.*). [9]



*Slika 4.4. Zaštita kobilice [26]*

Kod ovog postupka je poželjno da se kobilica premaže mješavinom smole i otvrdnjivača prije nego se pokrije sa zaštitnom tkaninom. Prethodno se treba namjestiti i, prema potrebi, izrezati višak zaštitne tkanine. Kobilica se premaže epoksidnom smolom pomoću valjka, te se preko njezine površine razvije tkanina od stakloplastike nakon što epoksid postane ljepljiv. Smola će držati tkaninu na mjestu. Ukoliko ima suhih područja (bijeli dijelovi), na njih je potrebno nanijeti još epoksidne smole. Suprotno, ako se pojavljuju sjajni dijelovi na površini znači da je nanoseno suviše epoksida koji je potrebno ukloniti sa lopaticom. Ne smije se nanijeti previše epoksida

kako tkanina ne bi „otplivala“ s površine. Pravilno premazana površina biti će prozirne boje. Ukupno se nanese dva ili tri sloja mješavine smole i otvrdnjivača. Sa brušenjem se može započeti kada završni sloj epoksidne zaštite otvrdne, gdje treba paziti da brusilica ne ošteti tkaninu. Završna faza zaštite kobilice je ista kao i za zaštitu vanjske oplata, odnosno nanos zaštitne boje ili laka koji će joj dati učinkovitu zaštitu od ultraljubičastih zraka. [9]

## 5. ZAKLJUČAK

Dovođenje drvene jedrilice klase L-5 u plovidbeno stanje, složen je i opsežan projekt u kojega treba uložiti puno volje, vještine i znanja, kao i alata i materijala da bi se na jedrilici izveli svi potrebni radovi. Svaka ta faza radova zahtjeva puno provedenih sati u planiranju izvedbe rada i nabavi kvalitetnih materijala i alata kako bi se što više olakšala sama provedba projekta: od mjerenja trenica do njihovog rezanja, oblikovanja i postavljanja na palubu, nanašanja jednokomponentnog ljepljiva na palubu, prikladne metoda zaštite trupa, itd.

Svi ti radovi će na kraju poboljšati izgled i vrijednost jedrilice, te na kraju doprinijeti osjećaju zadovoljstva koji donosi osjećaj da je jedrilica dovedena u plovidbeno stanje vlastitim rukama i da se na kraju krajeva postigla sama ideja i cilj ovoga projekta obnove jedrilice.

Ideja ovoga projekta je da se jedrilica koristi za studentske projekte iz različitih stručnih predmeta, poput snimanja forme, proračuna stabilnosti, proračuna jedara, proračuna i odabira opreme, projekta i izrade kormila i još puno toga što bi uvelike pridonijelo studentima da u daljnjoj praksi primjene to stečeno iskustvo tijekom studija. Krajnji je cilj porinuća i plovidba drvene jedrilice.

U Republici Hrvatskoj, u maloj brodogradnji, više se proizvode manje zahtjevne, plastične, jedrilice jer se lakše i brže naprave, te su znatno povoljnije. Međutim, drvene jedrilice su znatno ljepše i zasigurno pružaju bolji ugođaj pri plovidbi morem.

## LITERATURA

- [1] S Interneta, <https://regate.com.hr/index.php/strucna-literatura/bit-brzi/37-1-zasto-se-jedriliica-krece-prema-naprijed/599-1-1-uvod>, 28. svibnja 2022.
- [2] Vidović R.: „Pomorska terminologija i pomorske tradicije“, s Interneta, <https://hrcak.srce.hr/file/191264>, Split, 1982.
- [3] S Interneta, <https://postimg.cc/s1wRQ42W>, 29. svibnja 2022.
- [4] S Interneta, [https://webmail.riteh.hr/?\\_task=mail&\\_frame=1&\\_mbox=INBOX&\\_uid=1133&\\_part=2&\\_action=get&\\_extwin=1](https://webmail.riteh.hr/?_task=mail&_frame=1&_mbox=INBOX&_uid=1133&_part=2&_action=get&_extwin=1), 29. lipnja 2022.
- [5] S Interneta, [https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-Simpsons-rule-for-numerical-integration\\_fig3\\_322480011](https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-Simpsons-rule-for-numerical-integration_fig3_322480011), 29. lipnja 2022.
- [6] S Interneta, [https://webmail.riteh.hr/?\\_task=mail&\\_frame=1&\\_mbox=INBOX&\\_uid=1134&\\_part=2&\\_action=get&\\_extwin=1](https://webmail.riteh.hr/?_task=mail&_frame=1&_mbox=INBOX&_uid=1134&_part=2&_action=get&_extwin=1), 29. lipnja 2022.
- [7] S Interneta, [https://www.yachtshop.eu/en/product\\_fni/6472033/Sikaflex](https://www.yachtshop.eu/en/product_fni/6472033/Sikaflex), 10. srpnja 2022.
- [8] S Interneta, <https://www.osculati.com/hr/11101-m-015306/poliuretansko-ljepilo-sikaflex-298-fc>, 10. srpnja 2022.
- [9] Gougeon M.: „The Gougeon Brothers on Boat Construction“, s Interneta, <https://www.westsystem.com/wp-content/uploads/GougeonBook-061205-1.pdf>, 2005. godine.
- [10] S Interneta, <https://www.boote-magazin.de/ausruestung/technik/pvc-teakdeck-verlegen-werkstatt-pvc-teakdeck-richtig-verlegen/>, 10. srpnja. 2022.
- [11] S Interneta, <https://www.youtube.com/watch?v=3TOHwrkw4NQ>, 15. srpnja 2022.
- [12] S Interneta, <https://maritimo.at/farben-pflege/dichten-kleben/7119/tds-teak-deck-caulking-sis-440>, 15. srpnja 2022.
- [13] S Interneta, <http://www.enavigo.hr/hr/wooden-boats/why-wood/>, 15. srpnja 2022.

- [14] Duboković M.: „Analiza ponašanja konstrukcije od drva metodom konačnih elemenata“, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, s Interneta, <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fsb%3A4847/datastream/PDF/view>, 19. lipnja 2015.
- [15] HRB: „Pravila za tehnički nadzor brodova od drva, aluminijskih slitina i plastičnih materijala“, Dio B – temeljni tehnički zahtjevi, s Interneta, <https://mmpi.gov.hr/UserDocsImages/arhiva/Pravila%20za%20teh.%20nadzor%20brodova%20od%20drva,%20alum.%20slitina%20i%20pl.%20mat.%202013.pdf>, 28. prosinca 2012.
- [16] Dejhallala R.: Burza nautike, „Gradnja drvenog plovila primjenom epoksidne smole“, broj 187, travanj 2017.
- [17] S Interneta, <https://epoxycraft.com/trade-secrets/create-perfect-epoxy-coating-wood/>, 20. srpnja 2022.
- [18] S Interneta, <http://velerodragon.blogspot.com/>, 10. kolovoza 2022.
- [19] S Interneta, [https://clcboats.com/shoptips/epoxy\\_and\\_fiberglass/fiberglassing.html](https://clcboats.com/shoptips/epoxy_and_fiberglass/fiberglassing.html), 10. kolovoza 2022.
- [20] S Interneta, <https://www.youtube.com/watch?v=t5-UEowzLi8>, 10. kolovoza 2022.
- [21] West system, „Vacuum bagging techniques“, s Interneta, <https://www.westsystem.com/wp-content/uploads/VacuumBag-7th-Ed.pdf>, travanj 2010.
- [22] S Interneta, <https://www.youtube.com/watch?v=LPXn038ahD4>, 10. kolovoza 2022.
- [23] Grozdanić M.: „Tehnologija izrade pneumatičke brodice s krutim dnom“, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, s Interneta, <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fsb%3A272/datastream/PDF/view>, Zagreb, 15. siječnja 2009.
- [24] S Interneta, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=32154>, 5. rujna 2022.
- [25] S Interneta, <https://www.youtube.com/watch?v=P11ytAcjQmc>, 5. rujna 2022.
- [26] West system, „Final fairing and finishing“, s Interneta, <https://www.westsystem.com/wp-content/uploads/Final-Fairing-and-Finishing.pdf>, lipanj 2005.



## POPIS OZNAKA I KRATICA

$A, \text{ m}^2$	– ukupna površina palube jedrilice,
$\Delta x, \text{ m}$	– udaljenost između ordinata,
$y_n, \text{ m}$	– ordinate,
$m, \text{ kg}$	– masa brtvila,
$\rho, \text{ kg/m}^3$	– gustoća brtvila,
$V, \text{ m}^3$	– ukupni volumen presjeka između trenica,
$a, \text{ mm}$	– širina presjeka spoja trenica,
$b, \text{ mm}$	– debljina presjeka spoja trenica,
$L, \text{ m}$	– ukupna dužina presjeka spoja svih trenica.

# POPIS SLIKA I TABLICA

## Popis slika

<i>Slika 1.1. Drvena jedrilica – slikano u prostoru edukativne radionice „Torpedo“</i>	1
<i>Slika 1.2. Nacrt jedrilice L-5 dužine 5,75m iz 1937. godine</i>	2
<i>Slika 1.3. Nacrt linija jedrilice L-5</i>	3
<i>Slika 2.1. Paluba drvene jedrilice – slikano u prostoru edukativne radionice „Torpedo“</i>	4
<i>Slika 2.2. Simpsonovo pravilo za dobivanje površine</i>	5
<i>Slika 2.3. Nacrt linija drvene jedrilice – nacrtano u AUTOCAD-u</i>	6
<i>Slika 2.4. Slaganje trenica na palubu paralelno simetrali jedrilice</i>	8
<i>Slika 2.5. Oblik presjeka trenica palube</i>	8
<i>Slika 2.6. Uzdužni prikaz spajanja trenica</i>	9
<i>Slika 2.7. Sikaflex – 298 FC</i>	10
<i>Slika 2.8. Nanos ljepila na palubu</i>	12
<i>Slika 2.9. Ravnanje čepića sa ravninom trenice pomoću dlijeta</i>	13
<i>Slika 2.10. Brtvljenje trenica palube</i>	14
<i>Slika 2.11. Brušenje palube brusilicom</i>	15
<i>Slika 3.1. Vanjska oplata jedrilice – slikano u prostoru edukativne radionice „Torpedo“</i>	19
<i>Slika 3.2. Kitanje šupljine pomoću plastične lopatice</i>	21
<i>Slika 3.3. Zaštita vanjske oplate epoksidnom smolom</i>	22
<i>Slika 3.4. Jedrilica na okviru za okretanje</i>	24
<i>Slika 3.5. Okretanje jedrilice</i>	24
<i>Slika 3.6. Jedrilica okrenuta naopačke</i>	25
<i>Slika 3.7. Postavljanje tkanine od stakloplastike „suhom“ metodom</i>	26
<i>Slika 3.8. Raspršivanje epoksidne smjese po površini tkanine</i>	27
<i>Slika 3.9. Ravnanje tkanine sa površinom vanjske oplate</i>	28
<i>Slika 3.10. Prozirna i glatka površina završnog premaza</i>	29
<i>Slika 3.11. Materijali vakuumske zaštite</i>	30
<i>Slika 3.12. Stvaranje vakuuma i uvođenje smole</i>	31
<i>Slika 4.1. Balastna kobilica jedrilice - slikano u prostoru edukativne radionice „Torpedo“</i>	33
<i>Slika 4.2. Izrada olovnog balasta</i>	34
<i>Slika 4.3. Poprečni presjek kobilice i donjeg dijela trupa</i>	35
<i>Slika 4.4. Zaštita kobilice</i>	36

## **Popis tablica**

<i>Tablica 2.1. Tablica sa svim materijalima za palubu .....</i>	<i>16</i>
<i>Tablica 3.1. Osnovne značajke pojedinih drva za elemente trupa plovila.....</i>	<i>18</i>

## SAŽETAK

Točna priča o drvenoj jedrilici je pomalo nepoznanica. Jedrilica je poklon Krešimiru Luliću od prof. Ž. Sladoljeva, u ime dugogodišnje suradnje i ljubavi prema drvenim barkama. Ova jedrilica služi za učenje, rad s drvom i plovidbu, a uvjet njezinog postojanja je da se ne smije prodati nego samo pokloniti ili naslijediti, i to nekom tko se želi baviti njome. Dosadašnji vlasnik Krešimir Lulić je ideju i jedrilicu želio proslijediti dalje, pa ju je poklonio Tehničkom fakultetu. Jedrilica bi bila dugoročni studentski projekt u okviru studija brodogradnje, posebno onih stručnih sadržaja u okviru Zavoda za brodogradnju i inženjerstvo morske tehnologije. Jedrilica bi pružila studentima priliku da u praksi i iz prve ruke primijene znanja koja steknu tokom studija.

U ovom završnom radu zadatak je bio izraditi pregled svih potrebnih radova kako bi se drvena jedrilica dovela u plovidbeno stanje. Posebna pažnja je posvećena zaštiti vanjske oplata, postavljanju tikovine na palube, te drvenoj kobilici i njezinom obnavljanju. Svi su ovi radovi na plovilu dokumentirani na odgovarajući način (crteži, skice i dr.).

Ključne riječi: drvena jedrilica, Tehnički fakultet, pregled potrebnih radova, vanjska oplata, paluba, kobilica.

## SUMMARY

The exact story of the wooden sailboat is a bit unknown. The sailboat is a gift to Krešimir Lulić from prof. Ž. Sladoljev, in the name of long-term cooperation and love for wooden boats. This sailboat is used for learning, working with wood and sailing, and the condition of its existence is that it must not be sold but only given as a gift or inherited, to someone who wants to do it. The previous owner Krešimir Lulić wanted to pass on the idea and the sailboat, so he donated it to the Faculty of Engineering. The sailboat would be a long-term student project within the Study of Naval Architecture, especially the courses within the Department of Naval Architecture and Ocean Engineering. The sailboat would provide students with the opportunity to apply in practice and first-hand the knowledge they acquire during their study.

In this undergraduate thesis, the task was to make an overview of all the necessary work to bring the wooden sailboat into a seaworthy condition. Special attention is paid to the protection of the shell plating, the laying of teak on decks, and the restoration of the wooden keel. All these works on boat are documented in an appropriate manner (drawings, sketches, etc.).

Key words: wooden sailboat, Faculty of Engineering, review of required works, shell plating, deck, keel.