Materijali u brodogradnji

Deranja, Goran

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic Pula - College of Applied Sciences / Politehnika Pula - Visoka tehničko-poslovna škola s pravom javnosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:212:763274

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

Digital repository of Istrian University of applied sciences

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

Politehnika Pula
Visoka tehničko-poslovna škola

Kolegij: Tehnika materijala

Završni rad

MATERIJALI U BRODOGRADNJI

Goran Deranja

Pula, prosinac 2014.

Sažetak:

U brodogradnji najviše se koriste sljedeći materijali za izradu brodica:

- metalni materijali (čelik, aluminij)
- drvo i
- plastika

Metalni materijali koji se koriste u brodogradnji su u većini slučajeva slitine, a rijetko se koriste čisti materijali. Od metalni materijala u brodogradnji najviše se koristi čelik. Tome pogoduje više čelika koji se mogu upotrijebiti ovisno o zahtjevima naručitelja. Najčešće se koristi obični brodograđevni čelik i to u 80% slučajeva. Iako čelik ima mnogo veću specifičnu težinu od aluminija (čelik – 7800 kg/ m^3, aluminij – 2700 kg/ m^3), on se korist najčešće koristi zbog niže cijene i veće čvrstoće. Aluminij se koristi više u slučajevima gdje je potrebna čvrsta, žilava i laka brodica.

Metalni materijali u maloj brodogradnji imaju određene prednosti u određenim uvjetima gradnje i eksploatacije. Neke od prednosti metalnih materijala su dugovječna čvrsta i žilava konstrukcija brodice koja može izdržati ekstremne uvjete te također i mogućnost recikliranja metala. Gradnja drvenih brodica je oživjela pronalaskom kvalitetnih vodootpornih sintetičkih ljepila. Drvo je pogodno kao konstrukcijski materijal radi njegove otpornosti na zamor kod savijanja i visoke čvrstoće naprema masi. Što se plastike tiče u brodogradnji se koristi poliesterska i epoksidna smola. Poliesterska je jeftinija i upotrebljava se u serijskoj proizvodnji dok je epoksidna osjetno skuplja. Troškovi održavanja plastičnih brodica su za razliku od drvenih relativno mali kao i kod metalnih materijala.

SADRŽAJ:

1. UVOD……...…4

1.1. Opis problema……....4

1.2. Cilj i, svrha……...…..4

1.3. Polazna hipoteza……..…..4

1.4. Metode rada……..……4

1.5. Struktura diplomskog rada……..…..5

2. GRADNJA BRODICA METALNIM MATERIJALIMA……6

2.1. Primjena metalnih materijala u brodogradnji……...……6

2.2. Čelik…….....7

2.3. Obojani metali……24

3. VRSTE I PIMJENA OSTALIH MATERIJALA U BRODOGRADNJI……27

3.1. Drvo……27

3.2. Plastika……30

4. USPOREDBA ČELIKA I ALUMINIJA U BRODOGRADNJI……32

4.1. Usporedba primjene u specifičnim uvjetima……...32

4.2. Usporedba kvalitete materijala……34

4.3. Usporedba isplativosti materijala……38

5. PROCES GRADNJE ČELIČNE BRODICE……41

5.1. Kontrola kvalitete materijala……..42

5.2 Priprema i rezanje materijala trupa……44

5.3. Gradnja trupa……...47

5.4. Opremanje i primopredaja brodice……..55

6. ZAKLJUČAK……63

7. POPIS SLIKA I TABLICA……..64

8. POPIS LITERATURE……66

1. UVOD:

U uvodnom dijelu rada definirati će se i opisati problem, zatim cilj i svrha, polazna hipoteza, metode rada te struktura rada, dakle dati će se smjernice za izradu samog rada. Mala brodogradnja je u posljednje vrijeme u sve većem porastu, a ovaj će rad analizirati ulogu metalnih materijala u proizvodnji malih brodica.

1.1.Opis problema:

Najzastupljeniji materijali u gradnji malih brodica su drvo, plastika te metalni materijali. Svaki od tih materijala će u nastavku biti obrađen te će se na kraju utvrditi prednosti metalnih materijala u odnosu na drvo i plastiku. Materijali će se komparirati sa stajališta funkcionalnosti u specifičnim uvjetima, zatim kvalitete te na kraju isplativosti upotrebe pojedinog materijala. Naglasak je stavljen na izgradnju samog trupa brodice, ne i na ostalu potrebnu opremu.

1.2. Cilj i, svrha:

Cilj rada je istražiti pogodnosti gradnje malih brodica metalnim materijalima.
Svrha rada je odrediti položaj metalne industrije u svijetlu gradnje malih brodica.

1.3. Polazna hipoteza:

Metalni materijali u posebnim uvjetima primjene malih brodica imaju prednosti u odnosu na ostale materijale kao što su plastika i drvo.

1.4. Metode istraživanja:

Pri izradi završnog rada koristile su se sljedeće metode rada: analiza, opisna, grafička, sinteza.

1.5. Struktura diplomskog rada:

Rad je koncipiran u 8 osnovnih poglavlja. U uvodnom dijelu opisan je problem, utvrđeni su cilj i svrha rada, postavljena je i hipoteza, odnosno temeljna postavka rada. Također su definirane i metode rada. U drugom dijelu razrađena je gradnja malih brodica koristeći metalne materijale. Treće poglavlje sadrži razradu ostalih materijala (drvo i plastika) koji se koriste pri izradi malih brodica. U četvrtom poglavlju je razrađen proces gradnje čelične brodice. U petom poglavlju je razrađena usporedba metalnih materijala sa ostalim materijalima za gradnju trupa, sa stajališta primjene u specifičnim uvjetima, kvalitete i isplativosti. Zaključak je dat u šestom poglavlju. U sedmom poglavlju dat je popis slika i tablica. Osmo poglavlje sadrži korištenu literaturu.

2. GRADNJA BRODICA METALNIM MATERIJALIMA

Tipičan proizvodni proces gradnje broda počinje dobavom limova i profila za gradnju brodskog trupa. Materijal treba prvo ravnati, zaštititi temeljnom bojom, označiti i složiti onim redoslijedom kojim će prolaziti tijekom obradbe rezanja, savijanja, spajanja, bušenja i dr. Limovi i profili se nakon obrade u današnje vrijeme najčešće spajaju zavarivanjem. Trup većih brodova gradi se u odvojenim sekcijama, a veličina i težina pojedinih sekcija ovisi o mogućnostima njihova vertikalnog i horizontalnog transporta do mjesta gdje će se međusobno spojiti i tako montirati trup. Konstrukcija malih brodica obuhvaća znanja potrebna za oblikovanje, dimenzioniranje i izbor materijala konstrukcije broda. U principu se konstrukcija malog broda poklapa s predmetom konstrukcije broda općenito. Razlika je samo u tome da se kod malih brodova javlja niz specifičnosti u primjeni materijala, načina upotrebe te vrsti opterećenja. Mali brodovi su raznoliki prema namjeni, obliku trupa, gradivom materijalu, pogonskom uređaju, propulzoru, načinu ostvarivanja uzgona, itd. Veličina broda je pored ostalog ograničena materijalom konstrukcije.

2.1. PRIMJENA METALNIH MATRIJALA U BRODOGRADNJI

Kod primjene materijala u brodogradnji razlikuju se materijali za gradnju brodskog trupa, te drugi materijali za konstrukcijske dijelove broda i njegove opreme. Metalnim materijalima se smatraju brodograđevni čelici:

- normalne čvrstoće i povišene čvrstoće debljine do 50mm,
- normalne čvrstoće i povišene čvrstoće debljine od 50mm do 100mm,
- povišene čvrstoće s najnižom granicom razvlačenja od 390 N/mm^2,
- za primjenu na niskim temperaturama,
- nelegirani konstrukcijski čelici za zavarene konstrukcije,
- poboljšani čelici visoke čvrstoće za zavarene konstrukcije,
- čelici otporni na visoke temperature,
- čelici žilavi na niskim temperaturama,
- nehrđajući čelici,

- platirani limovi i
- čelici s posebnim zahtjevima u smjeru debljine,

Te aluminijske slitine poput:

- aluminijske slitine,
- aluminijske slitine za lijevanje i
- zakovice od aluminijskih slitina.

U izgradnji malih brodica od metalnih materijala najčešće se koristi obični brodograđevni čelik (u 80% slučajeva), te aluminij i njegove slitine. Dok se čelik i aluminij koriste najviše za izgradnju trupa brodice, sivi i nodulirani lijev se koriste za izradu brodske opreme kao što su razne pumpe, sidra, instrumenti, senzori, itd.

2.2. ČELIK

Čelik je tehnička legura željeza i ugljika sa postotkom ugljika od 2% i zahvaljujući svojim dobrim mehaničkim svojstvima može se koristiti za gradnju veoma čvrste i lake konstrukcije željenog oblika i dimenzija. Čelik se dobro reže, savija i zavaruje. Čelični lim za gradnju brodica mora ispuniti nekoliko osnovnih zahtjeva:

- da je čvrst i žilav,
- da se može lako oblikovati (savijati) na hladno,
- da je dovoljno istezljiv (da prilikom udarca ne pukne odmah nego da se najprije deformira)

Veće duljine brodova a i iscrpljivanje zaliha pogodnog drva velikih dimenzija dovelo je do uvođenja kompozitne konstrukcije gdje su se pojedini drveni elementi zamjenjivali ekvivalentnim željeznim, a kasnije čeličnim elementima. Tako su rebra i jaki uzdužni nosači redovito bili željezni dok je oplata bila drvena. Daljnje povećanje dimenzije broda nije bilo moguće bez uvođenja čelične konstrukcije.

Hrvatski registar brodova u dokumentu „Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova“ predviđa sljedeće čelike za primjenu u brodogradnji:

- čelici normalne i povišene čvrstoće,
- čelici povišene čvrstoće s R_{emin}= 390 N/mm²,
- čelici za primjenu na niskim temperaturama,
- nelegirani čelici za zavarene konstrukcije,
- poboljšani visokočvrsti čelici za zavarene konstrukcije,
- čelici za primjenu na povišenim temperaturama,
- čelici žilavi na sniženim temperaturama i
- nehrđajući čelici.

Čelici normalne i povišene čvrstoće:

To su zavarljivi čelici koji se koriste kao toplo valjani limovi, široke trake, šuplji i puni profili i namijenjeni su ponajviše za izgradnju brodskog trupa, a također i za ostale dijelove broda. Ovi čelici se koriste prvenstveno za dijelove čija debljina ne prelazi 50 mm, te su određeni na četiri vrste čelika normalne čvrstoće. Dijelom po svom kemijskom sastavu, mikrostrukturi, a time i po svojim svojstvima odgovaraju općim konstrukcijskim čelicima. Za dvije najbolje kategorije CRS D i E pored normalizacije, predviđena je i termomehanička obrada.

Po Hrvatskom registru brodova određene su četiri kategorije čelika normalne čvrstoće: CSR-A, CSR-B, CSR-D i CSR-E na osnovni zahtjeva za ispitivanjem žilavosti:

- CRS-A, CRS-B, CRS-D i CRS-E s granicom razvlačenja od 235 N/mm2,
- CRS-A32, CRS-D32 i CRS-E32 s granicom razvlačenja od 315 N/mm²,
- CRS-A36, CRS-D36 i CRS-E36 s granicom razvlačenja od 355 N/mm2 i
- CRS-D40 i CRS-E40 s granicom razvlačenja od 390 N/mm2.

Tablica 1. – Kemijski sastav, postupak dezoksidacije i mehanička svojstva čelika normalne čvrstoće.

Kategorija čelika		CRS-A	CRS-B	CRS-D	CRS-E
Dezoksidacija		svaki postupak osim nesmirenog	svaki postupak osim nesmirenog čelika	smireno za $d \leq 25$ mm, za $d > 25$ mm, smireno i obrađeno na sitno zrno	smireno i obrađeno na sitno zrno
Kemijski sastav (analiza taljevine) %	C maks	0,21	0,21	0,21	0,18
	Mn min	2,5xC	0,80	0,60	0,70
	Si maks	0,35	0,35	0,35	0,35
	P maks	0,040	0,040	0,040	0,040
	S maks	0,040	0,040	0,040	0,040
	Al (ukupno) min	-	-	0.020[4)]	0.020
Mehanička svojstva	R_m, N/mm^2	400...490			
	R_e, N/mm^2, min.	235			
	A_5, % min.	22			
Žilavost	temp. ispit., °C	-	0	–20	–40
	udarni rad loma, KV, J, min	-	27 (L)	27 (L)	27 (L)
		-	20 (T)	20 (T)	20 (T)

Napomena:

(L) znači uzdužni, a (T) poprečni smjer.

Za sve kategorije čelika propisano je smirivanje čelika, što znači da su propisani maksimalni ili minimalni udjeli C, Mn, Si, P i S te Al za dvije najbolje kategorije. Osnovna razlika u navedenim kategorijama koja je jasno posljedica mikrostrukture odnosno tehnološkog postupka proizvodnje čelika odnosi se na zajamčenu žilavost (udarni rad loma) na različitim temperaturama. Dok za kategoriju CSR-A ne propisuje žilavost za ostale tri kojima je zajamčena žilavost kod 0,-20 i -40 °C. Za sve kategorije propisana je minimalna granica razvlačenja od Re= 235 N/mm², te područje vlačne čvrstoće Rm= 400-490 N/mm². Također je propisana i minimalna istezljivost od 22% koja se odnosi na veće debljine lima ili trake (40-50 mm), dok su za manje debljine minimalne vrijednosti istezljivosti posebno propisane. Za čelike povišene čvrstoće određene su dvije podskupine prema vrijednostima Re (min. 315 N/mm² i min. 355 N/mm²) i Rm (440…590 N/mm² i 490…620 N/mm²) te unutar njih po tri kategorije na osnovi temperature ispitivanja žilavosti.

Tablica 2. – Kemijski sastav, postupak dezoksidacije i mehanička svojstva čelika povišene čvrstoće.

Kategorija čelika		CRS-A32*	CRS-D32	CRS-E32	CRS-A36	CRS-D36	CRS-E36
Dezoksidacija		smireno i obrađeno na sitno zrno					
Kemijski sastav (analiza taljevine) %	**C** (ugljik) max.	0,18					
	Mn (mangan)	0,90...1,60					
	Si (silicij) max.	0,10...0,50					
	P (fosfor) max.	0,040					
	S (sumpor) max.	0,040					
	Ti (titanij) max.	0,02					
	Cu (bakar) max.	0,35					
	Cr (krom) max.	0,20					
	Ni (nikal) max.	0,40					
	Mo (molibden) max.	0,08					
	Al (aluminij) min.	0,020					
	Nb (niobij)	0,02...0,05					
	V (vanadij)	0,05...0,10					
	(Al+Nb+V+Ti) max.	0,12					
Mehanička svojstva	R_m, N/mm^2	470...590			490...620		
	R_e, N/mm^2, min	315			355		
	A_5, % min	22			21		
Žilavost	temp. ispit., °C	0	–20	–40	0	–20	–40
	udarni rad loma, KV, J, min	31 (L) 22 (T)	31 (L) 22 (T)	31 (L) 22 (T)	34 (L) 24 (T)	34 (L) 24 (T)	34 (L) 24 (T)

Za sve kategorije predviđeno je pored smirivanja i usitnjenje zrna. Za to je potrebno pored legiranja s Al, kao što je spomenuto kod čelika normalne čvrstoće i dodatno mikrolegiranje s:

- V – vanadij,
- Nb – niobij i
- Ti – titanij.

Oni tvore sa C karbide, a sa N nitride. Takve sitne čestice sprečavaju rast austenitnog zrna koje nakon pretvorbe daje sitnu feritno-perlitnu mikrostrukturu, a dodatno percipitacijski očvršćuju željeznu matricu. Dodatno se zrno usitnjuje termomehaničkom obradom (regulirano valjanje) i/ili normalizacijskim žarenjem.

Čelici povišene čvrstoće s R_{emin}= 390 N/mm²:

Posebnu skupinu čine čelici kojima je zajamčena minimalna granica razvlačenja R_{emin}= 390 N/mm². Za tu svrhu predviđene su kategorije CSR-A40, CSR-D40 I CSR-E40. Pored zahtjeva koji se odnose na čelike iz prethodne skupine dodatno se za njih propisuju sljedeća mehanička svojstva.

Tablica 3. - Mehanička svojstva čelika povišene čvrstoće s R_{emin} = 390 N/mm².

Kategorija	**Granica razvlačenja** R_{eH} $[N/mm^2]$ min	**Rastezna čvrstoća** $R_m[N/mm^2]$	**Produljenje** $A_5[\%]$ min	**Ispitivanje žilavosti**	
				Temp. ispitivanja $[°C]$	Srednja vrijednost utrošene energije $KV[J]$ min
CRS-A 40 CRS-D 40 CRS-E 40	390	510 - 650	20	0 -20 -40	(L) 41 (T) 27

Napomene:

(L) znači uzdužni, a (T) poprečni smjer.

Propisane vrijednosti vrijede za proizvode debljine do 50 mm. Kemijski sastav je gotovo identičan onom čelika iz prethodne skupine. Da bi se postigla značajna mehanička svojstva čelika (pogotovo veće debljine) treba uz normalizaciju i tehnološki obraditi. Za čelik CSR-E40 je dodatno potrebno poboljšavanje tj kaljenje i visoko popuštanje.

Čelici za primjenu na niskim temperaturama:

Ovoj grupi čelika pripadaju čelici kojima je zajamčen udarni lom na -60 °C. Za tu svrhu predviđeni su čelici oznaka CSR-F32, CSR-F36, CSR-F40. Sva tri čelika spadaju u skupinu nisko ugljičnih sitnozrantih čelika. U tablici 5. navedena su njihova propisana mehanička svojstva.

Tablica 4. - Mehanička svojstva brodograđevnih čelika za niske temperature.

Kategorija	Granica razvlačenja R_{eH} $[N/mm^2]$ min	Rastezna čvrstoća $R_m[N/mm^2]$	Produljenje $A_5[\%]$ min	Ispitivanje žilavosti		
				Temp. ispitivanja $[°C]$	Srednja vrijednost utrošene energije $KV[J]$ min (L)	(T)
CRS-F 32	315	440 - 590	22		31	22
CRS-F 36	355	490 – 620	21	-60	34	24
CRS-F 40	390	510 - 650	20		41	27

Napomene:

(L) znači uzdužni, a (T) poprečni smjer.

Za TM – valjane čelike rastezna čvrstoća može biti niža i do 30 N/mm² od donje granice, a da to ne bude razlog za prigovor. Kemijski sastav ove skupine čelika vrlo je sličan onome za čelike povišene čvrstoće (Tablica 4.) osim što je manjen maksimalni dozvoljeni sadržaj ugljika Cmax= 0,16%. Limovi od tih čelika isporučuju se norlmaliziranom, poboljšanom ili termomehanički obrađenom (valjanom) stanju.

Poboljšani visokočvrsti čelici za zavarene konstrukcije:

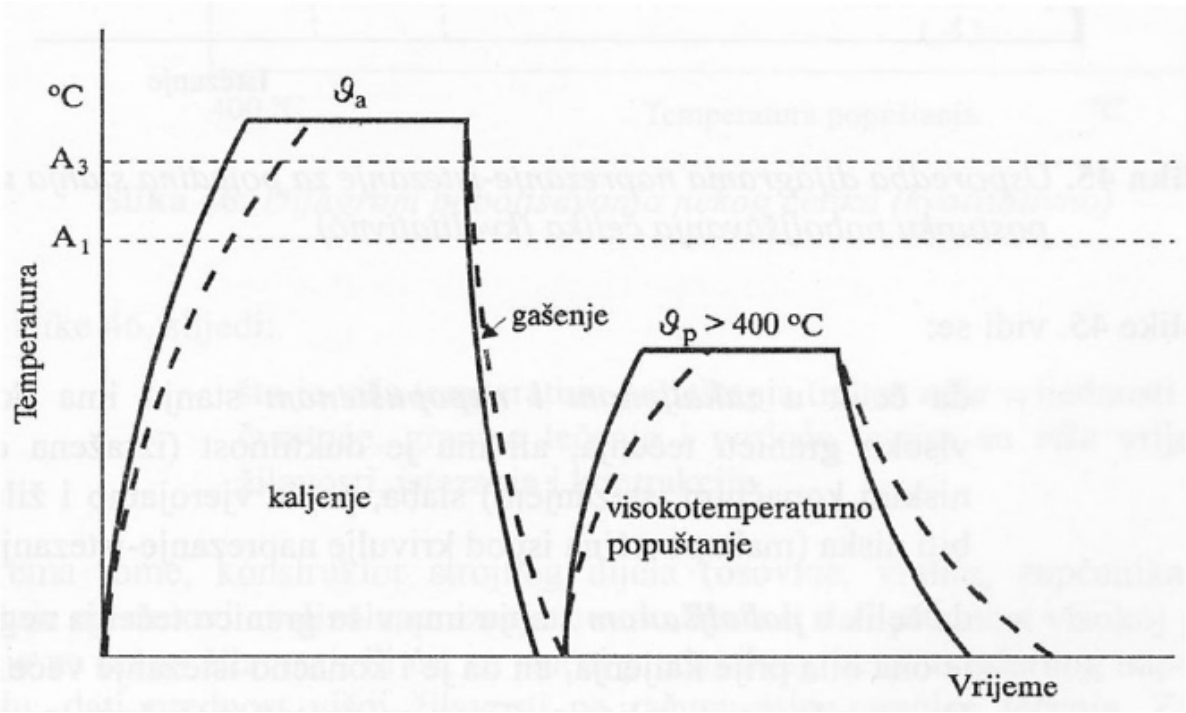
Čelici iz ove skupine namijenjeni su za izradu posebno opterećenih zavarenih konstrukcija broda gdje normalizirani čelici nisu dovoljno čvrsti. Ovi se čelici isporučuju kao limovi i trake debljine do 70 mm. Tri kategorije čelika CSR-D, CSR-E i CSR-F imaju propisani sljedeći kemijski sastav u postocima:

- C max – 0,20,
- Si max – 0,55,
- Mn max – 0,035 i
- S max – 0,030.

Norma propisuje sadržaj samo osnovnih elemenata koji su prisutni u svim čelicima. Sadržaj ostalih legiranih i mikrolegiranih elemenata prisutnih u čeliku posebno se specificiraju. To mogu biti:

- Cr, Mo, Ni – (legirani) i
- Ti, V, Zr (cirkonij) i B (bor) – (mikrolegirani).

Sadržaj ugljika u odnosu na klasične čelike za poboljšavanje (0,25 – 0,6%C) je snižen na 0,2 zbog zavarljivosti. Čelici se isporučuju iz čeličane u poboljšanom stanju. Prije toga obavezno je smirivanje čelika i postupak usitnjavanja zrna. Dijagram na slici pokazuje postupak poboljšavanja čelika.



Slika 1. – Dijagram postupka poboljšavanja čelika

Prema tome mikrostruktura ovih čelika za razliku od normaliziranih sitnozrnatih čelika se sastoji od visokopopuštenog nisko ugljičnog matrenzita i/ili bainita. Postupkom poboljšavanja postižu se visoke granice razvlačenja od 420-690 N/mm².

Tablica 5. - Mehanička svojstva čelika visoke čvrstoće.

Kategorija	Granica tečenja R_{eH} [N/mm²] za:		Rastezna čvrstoća R_m [N/mm²]	Produljenje A_5 [%]	Ispitivanje žilavosti		
					Temp. ispitivanja [°C]	KV	
	≤ 50 mm	> 50 mm ≤ 70 mm				Uzdužno [J] min.	Poprečno [J] min.
CRS- D 420 CRS- E 420 CRS- F 420	420	400	530 - 680	18	-20 -40 -60	41	27
CRS- D 460 CRS- E 460 CRS- F 460	460	440	560 - 710	17	-20 -40 -60	41	27
CRS- D 500 CRS- E 500 CRS- F 500	500	480	600 – 750	16	-20 -40 -60	41	27
CRS- D 550 CRS- E 550 CRS- F 550	550	530	640 – 790	16	-20 -40 -60	41	27
CRS- D 620 CRS- E 620 CRS- F 620	620	600	710 – 860	15	-20 -40 -60	41	27
CRS- D 690 CRS- E 690 CRS- F 690	690	670	770 - 920	14	-20 -40 -60	41	27

Pri preradi ovih čelika valja voditi računa o povećanoj čvrstoći u odnosu na normalizirane sitno zrnate čelike. Stoga pri hladnom oblikovanju treba računati s većim elastičnim povratom kao npr. pri savijanju lima. Pri toplom oblikovanju ne smije preći 1050 °C zbog otapanja čestica koje sprečavaju rast zrna. Nakon toplog oblikovanja treba ponoviti poboljšavanje jer se materijal ohlađivanjem samo normalizirao. Zavarivanje poboljšanih čelika vrlo je zahtjevno u pogledu količine unesene topline i izbora elektrode.

Za uspješno zavarivanje potrebno je:

- Izbjeći stvaranje krhke faze u zavaru prikladnim unosom topline. Ako je unos topline malen u odnosu na debljinu lima slijedi preoštro zakaljivanje.
- Izbjeći stvaranje ferita u zavaru, pa ohlađivanje ne smije biti presporo, odnosno količina unešene topline ne smije biti prevelika u odnosu na debljinu lima jer bi došlo do probijanja.

Čelici za primjenu na povišenim temperaturama:

Ovu skupinu čine čelici koji se koriste za izradu kotlova, posuda pod tlakom i ostale procesne opreme na višim radnim temperaturama. Kod viših radnih temperatura nastupa proces puzanja. Puzanje je ireverzibilna spora deformacija materijala nastala djelovanjem statičkog naprezanja tijekom dužeg vremena kod povišene temperature. Radne temperature strojeva i opreme dijele se na sljedeći način:

- niske temperature
- povišene temperature
- visoke temperature

Za željezne legure (čelici) proizlazi da se niskim smatraju radne temperature niže od 180 °C, povišene od 180 - 450 °C, a za visoke preko 450 °C.

Tablica 6. - Mehanička svojstva čelika za površine temperature.

Kategorija	Granica tečenja R_{eH} [N/mm²] za debljine			Rastezna čvrstoća R_m [N/mm²]	Produljenje A_5 [%]	Ispitivanje žilavosti	
	≤ 16	>16 do ≤ 40	>40 do ≤ 60			Temp. ispitivanja[°C]	KV [J]
H I	235	225	215	360 do 480	24	0	31
H II	265	255	245	410 do 530	22	0	31
17 Mn 4	290	285	280	460 do 580	21	0	31
19 Mn 6	355	345	335	510 do 650	20	0	31
15 Mo 3	275	270	260	440 do 590	20	+20	31
13 CrMo 4 4	300	295	295	440 do 590	20	+20	31
10 CrMo 9 10	310	300	290	480 do 630	18	+20	31

Oznake čelika su prema DIN-u. Prva dva HI i HII su ugljični čelici čija je EN oznaka P235GH i P265GH odnosno stara HRN Č 1202(0,16%C) i 1204(0,20%C). Ostali su niskolegirani čelici. Ugljični čelici se ne primjenjuju iznad 475°C jer dolazi do rekristalizacije matrice i koagulacije cementita. Nisko legirani čelici primjenjuju se do 550°C jer legirani elementi Mo i Cr stvaraju kvalitetnije karbide u odnosu na cementit, a dodatno Mo povisuje temperaturu rekristalizacije. Naime na povišenim temperaturama nije poželjno sitno zrno. Bolje je imati što manje granica zrna jer metalni materijali rado pužu uzduž granica kristala. Svi ovi čelici primjenjuju se u normaliziranom stanju. Pored mehaničkih svojstava koji za ove čelike propisuje HRB, DIN propisuje i granicu razvlačenja, granicu puzanja i statičku izdržljivost. Budući da ovi čelici ne posjeduju više od 0,2% C i imaju ne transformiranu strukturu vrlo su dobro zavarljivi.

Čelici žilavi na sniženim temperaturama:

U ovu grupu HRB svrstava dodatno legirane čelike kojima je zajamčen udarni rad loma i na još nižim temperaturama. Ovi čelici se prvenstveno koriste za izradu tankova i procesnih posuda na tankerima za prijevoz plinova. U tablici 8. navedeni su čelici žilavi na niskim temperaturama.

Tablica 7. - Čelici žilavi na niskim temperaturama.

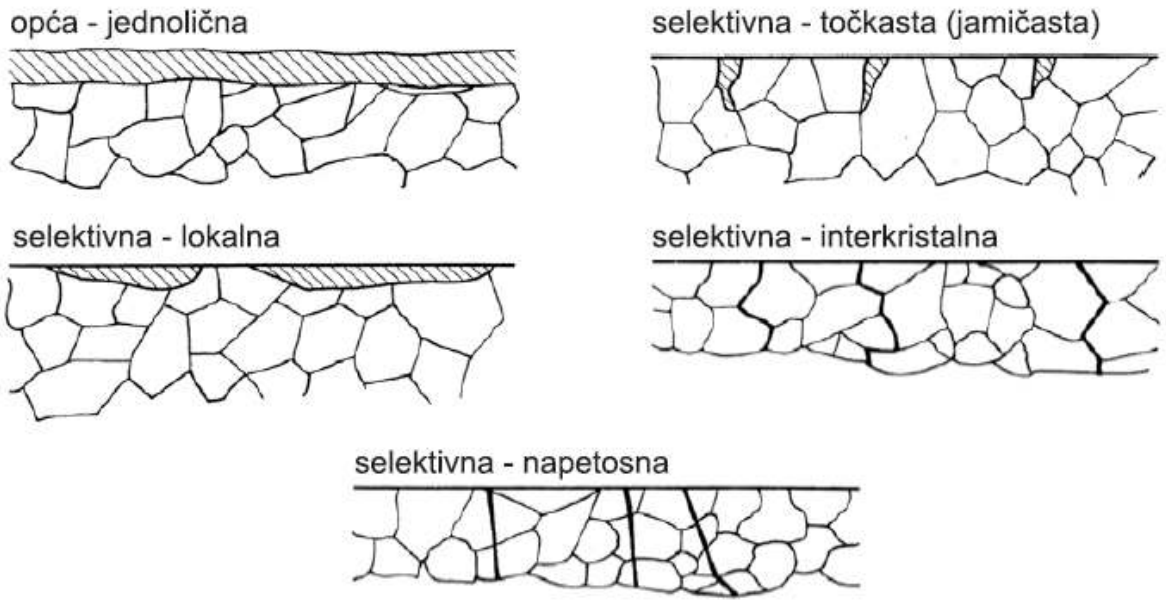
Kategorija	Norma/oznaka robe	Najniža proračunska temperatura (°C)
Finozrnati konstrukcijski čelici s nazivnom granicom razvlačenja do 355 N/mm²	Prema DIN 17102	-45
Niklom legirani čelici koji sadrže:	Čelici prema DIN 17280	
0.5% Ni	13 Mn Ni 6 3	-55
1.5% Ni	14 Ni Mn 6	-60
3.5% Ni	10 Ni 14	-90
5% Ni	12 Ni 19	-105
9% Ni	X 8 Ni 9	-165

Prva skupina su praktički sitno zrnati čelici. Drugu skupinu čine čelici legirani Ni koji se poboljšavaju (kale i visoko popuštaju). Sadržaj Ni varira od 0,5 kod najslabijeg čelika do 9% kod najboljeg čelika. Nikal je najdjelotvorniji legirani element za povišenje žilavosti čelika na niskim temperaturama. Osim što posjeduje sitnozrnatost u čeliku se kaljenjem dobiva tzv. Ni martenzit koji je za razliku od klasničnog martenzita vrlo žilav. Zato se ovi čelici primjenjuju do -200°C. Inače su ovi čelici osjetljivi na krhkost popuštanja pa ih nakon popuštanja treba ubrzano hladiti. Za najniže temperature primjenjuju se austenitni čelici. To su nisko ugljični visoko legirani čelici koji na sobnoj i sniženim temperaturama imaju austenit (FCC) kristalnu rešetku. To je moguće djelovanjem tvz. gamagenih elemenata, prvenstveno Ni. Austenitni čelici su i ujedno nehrđajući čelici.

Nehrđajući čelici:

Nehrđajući čelici u obliku limova i traka, profila i šipki namijenjeni su izradi tankova na tankerima za prijevoz kemikalija, posuda pod tlakom i drugih posuda kod kojih se zahtjeva kemijska stabilnost u odnosu na teret. Tako glase opći zahtjevi koje HRB propisuje za ovu skupinu čelika. Nehrđajući čelici zovu se također i korozijski postojani čelici. Korozija je spontano razaranje materijala pod djelovanjem okolnog medija tj. plina, kapljevine ili krutih agresivnih čestica, a zbog kemijskih ili elektokemijskih procesa.

Osnovni oblici korozije shematski prikaz.



Slika 2. Shematski prikaz oblika korozije

Neke od korozija koje se mogu javiti na brodicama su:

Opća jednolična korozija:

Najčešći i najraširenji, ali i najmanje opasan oblik korozije, a nastupa jednolično po cijeloj površini dijela. Intenzivnost opće korozije mjeri se gubitkom dimenzija mm/godini ili gubitkom mase u g/m²h.

Točkasta (rupičasta) korozija (eng. Pitting):

Nastupa na brojnim nepredvidivim mjestima, ali ne po cijeloj površini već se očituje malim jamicama koje s vremenom prerastaju u rupice. Uzrok koroziji je u lokalnim nehomogenostima u strukturi ili kemijskom sastavu materijala. Uz postojanje elektrolita (vodene otopine, vlažni plinovi i sl.) doći će do mikroelektrolize zbog razlike potencijala pojedinih strukturi ili materijala u spoju. Odnošenje materijala je uvijek s onog dijela koji se ponaša kao anoda.

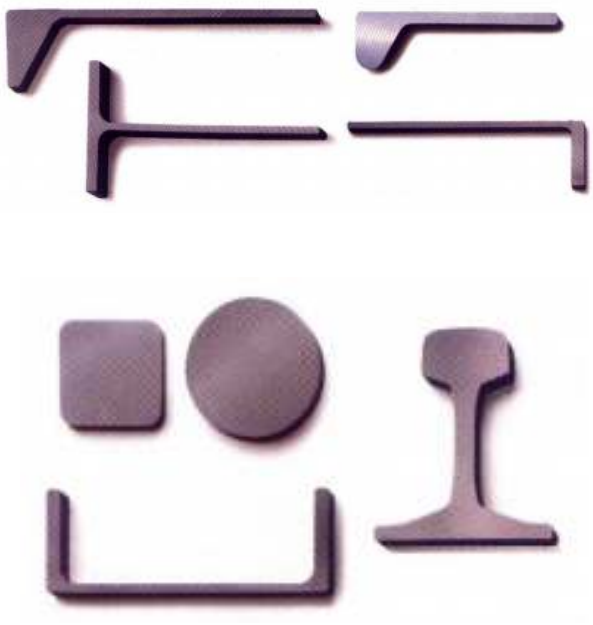
Kontaktna korozija:

Ako se u agresivnom mediju (elektrolitu) nalaze u dodiru dva različita metala, doći će do stvaranja galvanskog članka pri čemu će više korodirati onaj element koji se ponaša kao anoda. Ova vrsta korozije nastupa zbog velike razlike elektropotencijala ta dva metala, a ta vrijednost ovisi o vrsti materijala i vrsti agresivnog medija. Ova korozija česta je kod aluminija.

Profili u brodogradnji:

Valjani profili koji se najčešće koriste u brodogradnji:

- uglovnica istokraka,
- uglovnica raznokraka,
- bulb uglovnica,
- U-profili,
- bulb ploča,
- holand-profili,
- T-profili,
- T-bulb,
- plosnati profili,
- okrugli profili,
- poluokrugli profili i
- konveksni profili.



Slika 3. – Profili u brodogradnji

Ispitivanje mehaničkih svojstva brodograđevnog čelika:

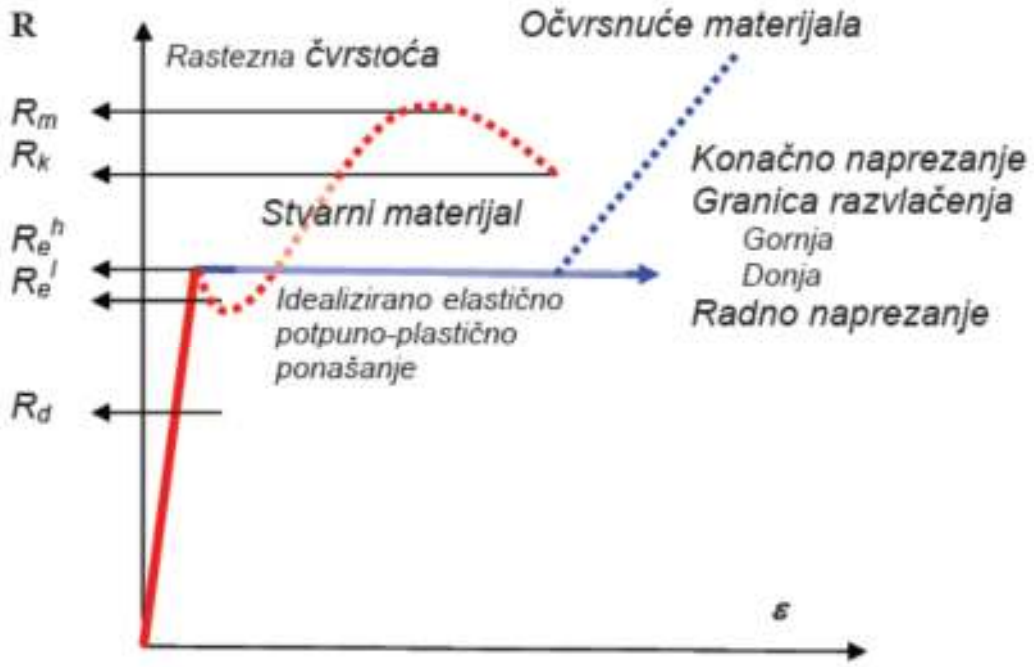
Ispitivanje mehaničkih svojstva brodograđevnog čelika se vrši prema zahtjevima klasifikacijskih udruga. Rezultati moraju biti pohranjeni u laboratoriju i uvijek dostupni za provjeru podataka.

Vrste ispitivanja su:

- ispitivanje rastezanjem,
- ispitivanje udarne žilavosti,
- tehnološka ispitivanja cijevi,
- ispitivanje savijanjem,
- ispitivanje tvrdoće,
- ispitivanje padnim tegom

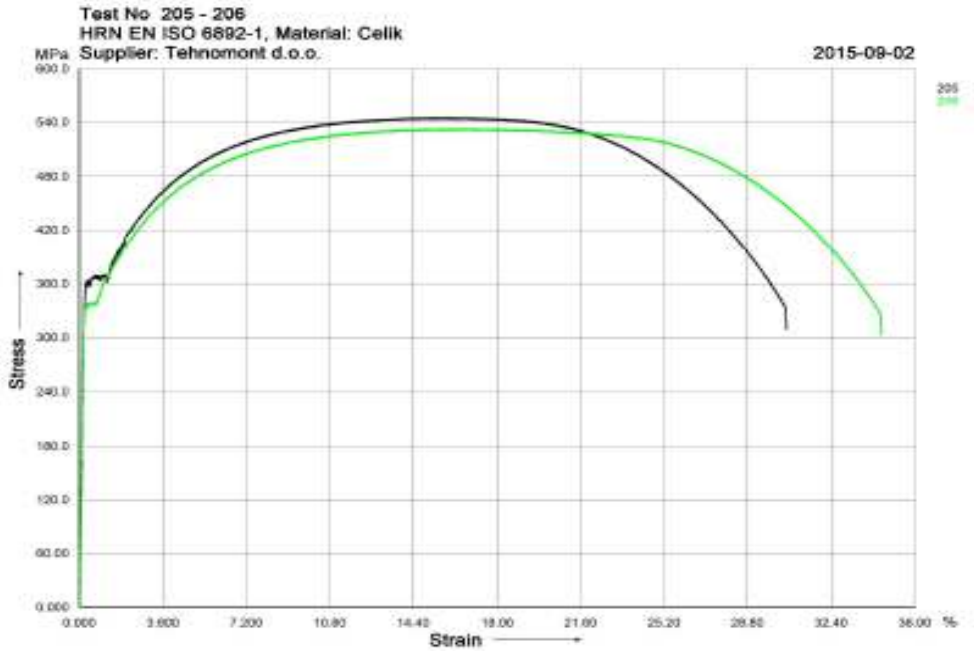
Za brodograđevne čelike se koriste podaci iz vlačnih pokusa o naprezanjima R u funkciji o relativnim deformacijama Ɛ:

- vlačna ili rastezna čvrstoća R_m,
- konačno naprezanje R_k,
- dvije granice razvlačenja R_e,
- donja R_e^l,
- gornja R_e^h odgovara naprezanju pri kojem nastaje prvi prijevoj krivulje naprezanja (jednolično produljenje)
- tehnička granica razvlačenja: Određuje se granica 0,2%, odnosno naprezanje kod kojeg trajno produljuje iznosi 0,2% početne mjerne duljine i
- produljenje i suženje presjeka.



Slika 4. - Čvrstoća stvarnih i idealiziranih elastičnih potpuno-plastičnih materijala (σ-ε dijagram).

Od svih navedenih vrsta čelika u brodogradnji se najviše koristi čelik normalne čvrstoće kvalitete A. Njegov udio u brodogradnji iznosi oko 80%. Samo na posebno napregnutim mjestima brodskog trupa primjenjuju se čelici povišene čvrstoće. Primjena pojedine vrste čelika na brodici ovisi o položaju i debljini lima, tipu brodice i uvjetima plovidbe.

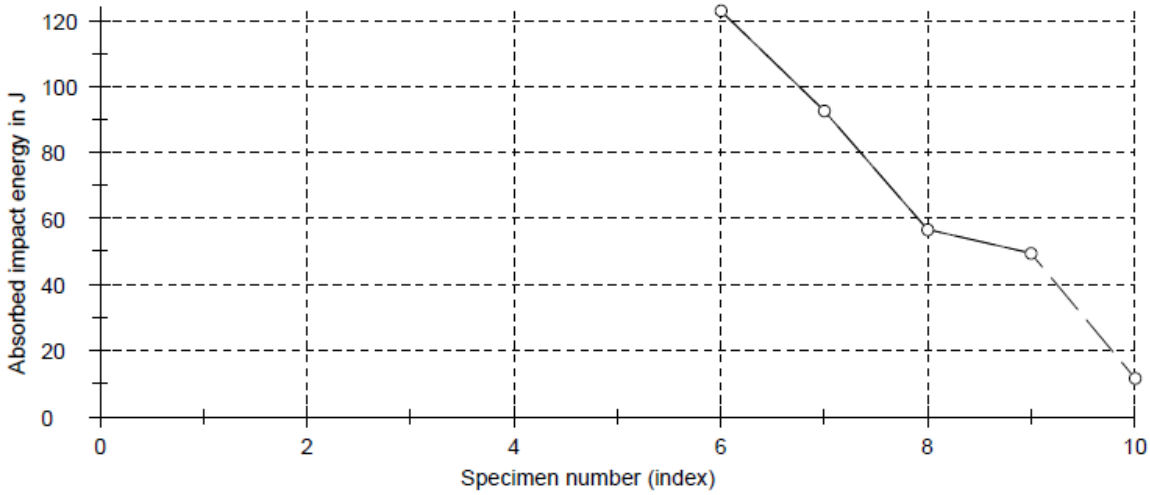


Slika 5. Grafički prikaz ispitivanja vlačne čvrstoće epruveti.

Results:

No.	Specimen designation	Date/Clock time	$T_{Specimen}$ °C	Theoretical impact velocity m/s	W J
8	E11	9.2.2015. 9:07:35	-20	5,234	123,14
9	E11	9.2.2015. 9:08:03	-20	5,234	92,79
10	E12	9.2.2015. 9:08:42	-20	5,234	56,57
11	E12	9.2.2015. 9:10:51	-20	5,234	49,47
12	E12	9.2.2015. 9:11:15	-20	5,234	11,53

Series graph:



Slika 6. Grafički prikaz udarnog ispitivanja epruveti.

Slika 7. Epruvete prije i nakon ispitivanja.

2.3. OBOJENI METALI

Aluminij:

Dugogodišnje iskustvo s aluminijevim legurama za brodogradnju pokazuje da su one pogodne kao konstrukcijski materijal jer nude sigurnost i pouzdanost u okruženju koje djeluje na materijal značajnim naprezanjima. Na polju brodogradnje broj i veličina brodova građenih od aluminija konstantno raste posljednjih 30 godina. Početkom sedamdesetih godina porinuto je svega nekoliko jedinica od 20 metara dužine, dok je krajem osamdesetih porinuto preko 30 aluminijskih katamarana od kojih neki premašuju duljinu od 70 metara. Aluminij se koristi u svim područjima brodogradnje, pri izradi brodova za šport i razonodu dužih od 12 metara kao što su jahte, ribarice i sl., ali i za komercijalne, ratne i policijske brodove. Korištenje aluminija u brodogradnji i u ostalim pomorskim primjenama je omogućeno kada su 40-ih proizvođači aluminija usavršili Al-Mg leguru otpornu na koroziju u morskoj sredini (a tako i u slatkovodnoj) i dobro zavarljivu. Da bi se to postiglo, trebalo je definirati kemijsku strukturu tih legura, te savladati uvijete procesa kojim će se postići najbolja moguća otpornost na koroziju. Otpornost prema koroziji najvažniji je kriterij u sredinama kakva su more, rijeke i jezera, čije je djelovanje neprijateljsko prema materijalima. Otpornost prema koroziji određuje i vijek trajanja opreme i njezinu operativnu sposobnost. Iskustvo pokazuje da priobalne instalacije, velika plovila i mali čamci svih vrsta napravljeni od 5083, 5086, 6005A i 6061 legure, mogu ostati u uporabi nekoliko desetljeća bez pojavljivanja izmjerljive količine korozije. U većini slučajeva legure nisu čak ni zaštićene premazivanjem, anodnom zaštitom ili neki drugim načinom. Odražavanje se može svesti na minimum, uključujući redovno premazivanje izloženih površina i zamjeni zaštitne anode, ako je to potrebno. Oprema napravljena od aluminija također zadržava dobra svojstva dugo vremena, zadobivajući patinu koja se dobro uklapa sa okolinom i koja ne kvari opći izgled. Aluminij je metal gustoće 2,7 g/cm3 . U usporedbi sa čelikom AL može uštedjeti i do 40-50% težine trupa ili strukture. U usporedbi sa stakloplastikom odnos težine čamca iznad 10 metara je u potpunosti u korist aluminija i raste s veličinom čamca.

Lakoća aluminija ima dvije direktne prednosti:

- za vrijeme proizvodnje, težina aluminija umnogome pomaže pri rukovanju sa poluproizvodima u tvornici, tako da otpada uporaba teških dizalica i
- u službi, aluminijski čamci su lakši nego slični od čelika ili stakloplastike, brži su za istu snagu motora i imaju veću energetsku iskorištenost kod većih brzina.

Prednosti se mogu i povećati, optimizirajućim korištenjem specifičnih osobina Al-legura za projektiranje većih i vitkijih trupova, nego što su to čelični, ali i sa manjom istisninom kao dobitkom na težini što je već i ostvareno. Uporaba funkcionalnih profila može veoma olakšati i pojednostaviti izradu aluminijskih struktura i dovesti osnovna svojstva materijala u najbolju interakciju. Značajan napredak je postignut primjenom kompjutera u dizajnu i crtaćim metodama koji su omogućili proizvodnju u segmentima kao što je rezanje okvira i automatizaciju odgovarajućih operacija zavarivanja. Kod izvoda s prijeklopkom zavar mora biti neprekinut po cijelom opsegu prijeklopa.

Sivi lijev:

Sivi lijev je legura željeza i ugljika, gdje se ugljik izlučuje iz legure kao grafit, i to za vrijeme skrućivanja ili pri njenom žarenju, pa se time postiže bolja obradivost i veća sposobnost prigušivanja vibracija. Na izlučivanje grafita utječu kemijski sastav, način skrućivanja i obrada legure. Vrlo je važna količina ugljika i silicijau leguri sa željezom. Što je ta količina veća, to se više izlučuje grafita, i veći su grafitni listići. U osnovnoj strukturi grafit je strano tijelo vrlo male vlačne čvrstoće (20 N/mm^2) i tvrdoće. Grafitni listići presijecaju osnovni čelični lijevi imaju zarezno djelovanje. Što ima više grafitnih listića i što su oni grublji, to su i mehanička svojstva lijeva lošija (od 120 – 300 N/mm^2). Sastav sivog lijeva može se mijenjati u slijedećim granicama: 2,0 – 4,5% C, 0,5 – 3,5%Si, do 1,3% Mn, do 1% P i 0,06 – 0,15% S.

Pri jednakoj količini ugljika i pri jednakom udjelu grafita, sivi lijev može imati različita mehanička i fizička svojstva. Do tih razlika dolazi zbog različitog oblika grafita, njegove raspodjele i veličine. Čvrstoća sivog lijeva ovisi više o količini i obliku grafita, nego o osnovnoj strukturi.

Tlačna čvrstoća sivog lijeva je 3 do 6 puta veća od vlačne čvrstoće, dok čelik ima obje te čvrstoće približno jednake. Jedna od odlika sivog lijeva je velika tlačna čvrstoća. Zato se sivi lijev u prvom redu upotrebljava na mjestima veoma opterećenim na tlak, ali se ne smije opteretiti na savijanje.

Nodulirani lijev:

Kemijski sastav nodularnog lijeva razlikuje se od sivog lijeva po tome što sadrži veći postotak ugljika i silicija ali i magnezija tako da se grafit izlučuje u obliku kuglica. Osim toga, sadržaj sumpora je znatno niži nego kod sivog lijeva.

Legiranjem ili toplinskom obradom mogu se postići i druge strukture. Nodulirani lijev je materijal koji osvaja tržište i zamjenjuje druge ljevove na bazi željeza. Nodulirani lijev ima mnogo veću čvrstoću nego sivi lijev, ali mu nedostaje sposobnost prigušivanja vibracija i obradivost sivog lijeva. Mehanička svojstva su mu između čeličnog i sivog lijeva:

- bolje se obrađuje od čelika,
- ima bolju sposobnost prigušivanja i
- bolja ljevačka svojstva od čelika.

Posebna prednost nodularnog lijeva prema sivom i nelegiranom čeliku je veličina granice razvlačenja.

Perlitni nodularni lijev predstavlja najbolji izbor u mnogobrojnim slučajevima primjene. Ako su odljevci izloženi deformacijama i udarnim opterećenjima predlaže se feritni nodularni lijev. Najekonomičnija i najkonkurentnija kvaliteta je feritno – perlitna kvaliteta nodularnog lijeva jer uz veliku čvrstoću ima i dobru otpornost prema trošenju.

Toplinskom obradom i legiranjem mogu se proizvesti vrste nodularnog lijeva vrlo velike čvrstoće.

3. VRSTE I PRIMJENA OSTALIH MATERIJALA U BRODOGRADNJI

Najzastupljeniji materijal u gradnji brodica osim metalnih su drvo i plastika. Ta dva materijala imaju veliku ulogu u maloj brodogradnji. Na samim počecima nisu ni postojali veliki brodovi te se zapravo velika brodogradnja razvila iz male brodogradnje tek prelaskom s drvene na čeličnu konstrukciju. Tehnološka umjeća su diktirala oblikovanje prvih brodova od dostupnih stabala pomoću alata kojim su se trupci mogli obrađivati. Bilo je potrebno spojiti više komada drva da se poveća širina i visina broda, a time i nosivost. Veće duljine brodova a i iscrpljivanje zaliha pogodnog drva velikih dimenzija dovelo je do uvođenja kompozitne konstrukcije gdje su se pojedini drveni elementi zamjenjivali željeznim, a kasnije i čeličnim elementima.

Tako su rebra i jaki uzdužni nosači klipera redovito bili željezni dok je oplata bila drvena. Svojevremeno je uvođenje poliesterskih smola izazvalo pravu revoluciju u maloj brodogradnji. Činilo se da je drvo potpuno potisnuto kao gradivo u maloj brodogradnji. Skoro neograničena trajnost, veća čvrstoća, vodonepropusnost, manja težina za istu čvrstoću, lakše izvođenje svih obika i krivulje učinili su stakloplastiku nezamjenjivim brodograđevnim materijalom. Čak su i popularizirane tehnike „spašavanja“ dotrajalih drvenih brodova i pojačanja drvenih konstrukcija oblaganjem tzv. stakloplastikom.

3.1. DRVO

Drvo kao materijal za građu ima niz dobrih, a također i loših strana. Nedostaci drva su da upija vlagu, a zatim se suši i u toku tog procesa mjenja svoje dimenzije. Sklono je truljenju, a pored toga ga napadaju insekti, zatim ima nejednaku čvrstoću pri opterećenju uzduž i poprečno na vlakna drva. Mnogi su graditelji zbog ovih nedostataka odbacili drvo, a jedan od glavnih razloga odbacivanja je pojava jednog novog materijala, a to je stakloplastika. Proces gradnje drvom je prilično spor, a svaki graditelj želi da što brže dođe do željene brodice.

Pronalaskom kvalitetnijih ljepila, epoksidnih smola i kvalitetne zaštite drvo je opet dobilo svoju zaštitu, jer je ono bilo prvi i osnovni materijal za gradnju brodica.

Mađutim nesmijemo zaboraviti podatak da se kvalitetne i dugovječne brodice mogu graditi od plementih vrsta drva kao što su:

- Tik (burmanski)
- Mahagonij,
- Ariš,
- Hrast i
- Jasen

Najveći nedostatak je što su plemenite vrste drva veoma skupe.

Nije svaka vrsta drva pogovdna za gradnju brodice, stoga se svojstva brodograđevnog drva dijele na:

- čvrstoća uz što manju težinu,
- stabinlost dizmenzije – što manje stezanje,
- dobra savitljivost,
- žilavost,
- otpornost na utjecaj vlage i
- dugotrajnost – u smislu izdržljivosti.

Zatim postoje i estetski zahtjevi:

- boja,
- tekstura i
- smjer vlakana.

Drvo je pogodno kao konstrukcijiski materijal i radi njegove otpornosti na zamor kod savijanja i visoke čvrstoče spram mase, razlikujemo tvrde i mekane vrste drva. Tvrde vrste se koriste za izradu konstrukcijskih dijelova kao što su rebra, statve, kobilica, rebrenice ili glavne uzdužnice. Mekane vrste drva su pogodne za oplaćivanje trupa i palube te za izradu jarbola. Tvrdo ili mekano, drvo mora biti kvalitetno i dobro pobrušeno. Ne bi smjelo imati kvrge niti mekana mjesta. Jedan od svojstva drva je njegova vlažnost. Sadržaj vlage u drvu u postotku odnosa sa masom određuje osnovna tehnološka svojstva materijala i stabilnost oblika gotove konstrukcije kao i njene čvrstoće. Za gradnju brodica se upotrebljava drvo sa sadržajem vlage od 12 do 18%. Suhiji materijal se ne preporučuje, a obrada drva koja ima vlažnost veću od 20% je otežana, dok su ljepljeni spojevi nesigurni u odnosu na kvalitetu.

Od domaćih vrsta drva tvrdima se smatraju hrast i brijest, a mekanim bor, smreka i ariš. Od uvoznih vrsta tvrde su tik i mahagonij.

Ariš

Stablo planina srednje Europe. Uspijeva do gornje granice šumske vegetacije. Doseže visinu od 40 m i promjer od 1.5 m. Deblo je vrlo dugo a krošnja rijetka i čunjasta. Jedina domaća četinjača kojoj lišće otpada zimi. Drvo je elastično, smolasto, trajno, crvenkaste boje i široke srži. Godovi su pravilni i izraziti. Ariš je cijenjeno i traženo brodograđevno drvo. Trajno je pod vodom. Služi za izradu palube, oplate, nadgrađa, kobilice, hrptenice i pasma brzih brodica, jarbola. Izvrsno je za lameliranje. Srednje vrijednosti svojstava drva s 15% vlage: gustoća 590 kg/m^3, modul elastičnosti 13500 N/mm^2, čvrstoća u smjeru vlakana: vlak 105 N/mm^2, tlak 46 N/mm^2, savijanje 94 N/mm^2, bubrenje (utezanje) 7.8% tangencijalno i 3.3% radijalno.

Bor crni

Crni bor je stablo južne Europe i zapadne Azije. Doseže 40 m visine. Drvo obiluje smolom, markantnih je godova i ima veliku žućkastu bjeljiku i crvenkasto-smeđu srž. Drvo je meko, teško se cijepa i vrlo je čvrsto na savijanje. U brodogradnji se upotrebljava za izradu palube, oplate, nadgrađa, podnica, pregrada, ograda i jarbola. Srednje vrijednosti svojstava drva s 15% vlage: gustoća 620 kg/m^3, modul elastičnosti 10790 N/mm^2, čvrstoća u smjeru vlakana: tlak 55 N/mm^2, savijanje 128 N/mm^2, bubrenje (utezanje) 7.7% tangencijalno i 4.3% radijalno.

Brijest

Stablo široke krošnje visoko 30 do 35 m. Bjeljika je uska prljavo-žute boje a srž smeđe-crvena. Godovi su markantni. Drvo je srednje tvrdo, čvrsto na pritisak, vlak, savijanje i smicanje. Srednjeg je elastičnosti, teško se cijepa, dobro obrađuje i vrlo je trajno. U brodogradnji se koristi za izradu rebara i koljena manjih brodova, glava kormila, razme, sponja, oplata palube, kobilice, štitne kobilice, pramčane statve, protustatve, vojeva gaza, rebara, rebrenica, krmenih umetaka, zrcala, koljena glavne palube, grotla, proveza uzvoja, bokobrana i za unutrašnje uređenje.

Hrast kitnjak

Stablo srednje i južne Europe, doseže do 40 m visine. Bjeljika je uska, žućkasto-bijela, a srž smeđa. Godovi su mu markantni. Drvo je trajno, dosta teško, srednje tvrdo, vrlo elastično i dobro se obrađuje. U brodogradnji se upotrebljava za izradu svih važnijih konstruktivnih elemenata, rebra, vanjske i unutrašnje oplate, kobilice, hrptenice, statve, proveze, razme, grotala, temelja motora, bitve, bokobrana.

Smreka

Stablo velikih dimenzija, visine do 50 m promjera do 2 m, rasprostranjena po planinama Europe. Drvo sliči na jelovinu ali se može raspoznati po smolnim kanalima koji se i običnim okom vide na poprečnom presjeku. Srž se bojom ne razlikuje od bjeljike. Drvo je lagano, mekano slabe čvrstoće na savijanje, srednje elastično i dobro se obrađuje. U brodogradnji se koristi za izradu jarbola, križeva, kopalja, oplata brodica, trenica palube, sponja, proveza, sjedala, pregrada, brodskog namještaja.

Drvo je ortotropni materijal što znači da je čvrstoča u jednom mjeru znatno veća od čvrstoće u drugim smjerovima. Čvrstoća na vlak je najveća paralelno s vlaknima, ali je smična čvrstoća manja od smične čvrstoće okomito na vlakna. Vlačna čvrstoća okomito na vlakna je znatno niža od one paralelno vlaknima.

3.2. PLASTIKA

Zajedničkim imenom „plastika“ nazivamo veliki broj predmeta, među njima i brodove izrađene od umjetne smole.

Dvije najvažnije osobine tog materijala su:

- neosjetljivost na djelovanje vode i zraka i
- vrlo velika čvrstoća.

Plastiku je otkrio Aleksandar Parkes 1862.g. Otkriću se nije pidodavalo puno pažnje sve do drugog svjetskog rata kada proizvodnja čelika nije mogla zadovoljiti sve veću potražnju, pa su se naveliko tražili drugi materijali koji bi zamjenili čelik. Od tada i počinje intezivno istraživanje i proizvodnja umjetnih smola.

Polimerni kompoziti

Stakloplastika je kompozitni materijal koji se koristi najviše u brodogradnji za iszradu čamaca. Sastoji se od staklene tkanine, smole i učvrščivaća. Radi se o sintetičkom materijalu. U maloj brodogradnji najčešće se upotrebljavaju poliesterske i epoksidne smole. U pogledu mehaničko-fizičkih osobina kao što je čvrstoća, u toku proizvodnjese možemo uvijeriti da se radi o vezivom materijalu, što znači da se sastoji od najmanje dvaju vrsta materijala. Jedan materijal služi kao vezivo sredstvo, a drugi daje čvrstinu. Stakloplastični brodovi su izuzetno jaki, ne hrđaju, ne korodiraju i ne trule. Međutim podložni su utjecaju sunčeve svjetlosti i ekstremnim temperaturama. Bilo da su ručno položene ili izrađene u kalupima, stakloplastične brodice imaju vanjski premaz poliesterskih smola koji ne pojačava čvrstoću već stvara glatku površinu koja može služiti i kao zaštitni sloj protiv sunca.

U maloj brodogradnji SOP (staklom ojačana plastika) plovila zauzimaju važan dio proizvonje i to zbog važnih prednosti poput:

- jednostavnije izrade,
- zadovoljavajuće čvrstoće i
- relativno malih troškova održavanja.

Danas postoji više načina izrade stakloplastičnih brodica, dok se u početku kotristio isključivo ručni kontaktni postupak. Međutim, zahtjevi za većom čvrstoćom uz manju težinu, te zahtjevi za smanjivanje stirena[1], doveli su do novih načina izrade. Tu spada i postupak vakumske nifuzije, gdje se na suho posložena staklena ojačanja mata i rovinga, nakon zatvaranja folijom pušta smola, ta crpkama isisava višak smole i zraka. Izradi stakloplastičnih brodica predhodi proračun strukturnih elemenata. Masovna izrada i upotreba plastičnih plovila na empirijskim formulama danima od strane klasifikacijskih društava pod kojim se plovilo gradi. Danas se koriste i softverski paketi klasifikacijskih društava, koji prema ulaznim parametrima proračunavaju minimalne zahtjevane dimenzije strukturnih elemenata.

Ulazni parametri su:

- glavne dimenzije,
- vrsta plovila,
- područje plovidbe i
- brzina.

4. USPOREDBA METALNIH MATERIJALA SA OSTALIM MATERIJALIMA ZA GRADNJU BRODICA

U ukupnom procesu projektiranja broda prema projektnoj spirali, projektiranje brodske konstrukcije može nastupiti tek nakon određivanja tipa i funkcije broda, službe broda, područja plovidbe i glavnih izmjera (duljine, širina, visina, gaz). Na samom početku rada na projektu broda započinje i zamisao projektiranja brodske konstrukcije s osnovnim naznakama raspodjele glavnih pod struktura i važnih elemenata buduće konstrukcije. Nakon što je glavni projekt određen u najvažnijim svojim sastavnicama može započeti preliminarno projektiranje brodske konstrukcije koje se može odvijati opetovano i usklađeno s promjenama glavnog projekta u tijeku. Tek u kasnijim fazama glavnog projekta započinje detaljno projektiranje brodske konstrukcije. Normalno se u praksi trgovačke brodogradnje detaljno projektiranje brodske konstrukcije započinje na osnovi pravila klasifikacijskih društava za gradnju trupa broda, a tek se tako razvijena detaljno razrađena konstrukcija podvrgava složenijim provjerama, danas uobičajeno primjenom direktnih proračuna metodom konačnih elemenata. Zbog velike važnosti koje zajednica pridaje sigurnosti ljudi i brodova i zaštiti okoliša, nadzor od strane klasifikacijskih društava, neovisnih inspektora brodovlasnika i nadzornih jedinica brodogradilišna se neprestano provodi tijekom svih faza projektiranja brodske konstrukcije u projektnim i konstrukcijskim uredima i tijekom izgradnje trupa broda u brodogradilište i nastavlja se za vrijeme cijelog životnog vijeka broda u službi.

4.1. USPOREDBA PRIMJENE U SPECIFIČNIM UVJETIMA

Pod pojmom funkcionalnosti se smatra sposobnost proizvoda da obavlja funkciju za koju je namijenjen. Funkcija je po definiciji djelovanje proizvoda sa svim zahtjevnim karakteristikama.

Što se specifičnih uvjeta tiče metalni materijali tu imaju svoje prednosti i nedostatke. Brodice razlikujemo prema namjeni.

Male brodice se koriste prvenstveno u sljedeće svrhe:

- ribarske brodice,
- turističke brodice i
- jahte.

Pojedini materijali imaju prednosti i nedostatke pri konstruiranju svake od navedenih vrsta brodica.

Ribolov se u dosta slučajeva obavlja po lošim vremenskim uvjetima, a tijekom ribolovne sezone je malo vremena za popravke i održavanje broda. Zbog toga je potrebno da ribarska brodica bude čvrste konstrukcije i velike nosivosti kao na primjer od čelika. Uz veliku nosivost dolazi i velika težina same konstrukcije, ali težina brodice nije presudan faktor kod ribarskih brodica. Također je vrlo važna čvrstoća i žilavost čelika kao materijala. Deformacije nastale udarcima do kojih ribarska brodica dolazi često bilo prilikom usidravanja u luku ili prilikom pretovara tereta na hladnjače, mogu se lako popraviti, što kod drva i plastike nije moguće jer oni nisu žilavi materijali. Čelik dobro podnosi ekstremne vremenske uvjete koji mogu nastati na otvorenom moru kao što su visoki valovi ili ekstremne temperature. Nekada su se ribarske brodice izrađivale isključivo od drva, dok je danas čelik najpogodniji materijal iz više razloga kao što su cijena izgradnje, sigurnost brodice, čvrstoća i žilavost, mogućnost popravka i drugo.

Za izradu bržih plovila u pojedinačnoj proizvodnji najpogodniji materijal je aluminij. Prednost aluminija je ta što je relativno lak materijal i zato postiže i veće brzine od jedne čelične brodice jednake snage. Aluminij ima najveću energetsku iskoristivost pri velikim brzinama, dakle troši manje goriva te ima najveću stabilnost pri velikim brzinama bez obzira na količinu tereta i uvjeta na moru. Također, aluminij ima i čvrstu konstrukciju. Aluminijem se grade plovila do 40m dužine, dok se na većim brodovima koristi za nadgrađe i palubne kućice, čime se pogoduje stabilitetu. Aluminijske brodice se rijetko izrađuju u serijskoj proizvodnji za razliku od plastičnih zbog relativno visoke cijene materijala, tako da se najviše koristi kod pojedinačne proizvodnje i kad je potrebna brza i čvrsta brodica.

Drveni brodovi, oni iz postojećih floti, se najčešće koriste kao turističke brodice i ribarice. Gradnja tradicionalnih drvenih brodova sve više nestaje zbog cijene izgradnje i nesigurnosti samih brodica pa se pronalaze neki novi načini gradnje drvenih brodova kao npr. WEST tehnika, odnosno tehnika zasićenja drva epoksidom. Drvo također ima prednost u pogledu

estetike. Drvo pruža dobru toplinsku i zvučnu izolaciju što je važno kod turističkih brodica. Još jedna prednost drva je i ta da kod njega ne dolazi do zamora materijala.

Za izradu jahti, posebice jedrilica najviše se koristi plastika, odnosno polimerni kompoziti. Takve brodice imaju povećanu strukturnu čvrstoću, a veliku ulogu ima i estetski efekt same brodice zahvaljujući besprijekornoj obradi svih vidljivih površina. Plastične brodice također pružaju dobru toplinsku i zvučnu izolaciju. Plastične brodice se najviše koriste, uz aluminij, u izradi jahti. Njihova osnovna prednost nad aluminijem je niža cijena materijala i mogućnost serijske proizvodnje.

4.2. USPOREDBA KVALITETE MATERIJALA

Od materijala koji se koriste u brodogradnji zahtijeva se mala specifična težina, velika čvrstoća i žilavost, dobra obradivost, otpornost na koroziju, nezapaljivost, trajnost, nemagnetičnost i niska cijena. Naravno da niti jedan materijal ne posjeduje sve ove osobine, tako da se pri izboru materijala traži zadovoljavajući kompromis. Osnovni materijali u brodogradnji su: metali, drvo, plastične mase i kompozitni materijali. Za materijale od kojih se grade vitalni dijelovi broda klasifikacijska društva propisuju koja svojstva i kvalitetu treba da posjeduju. Ovi materijali moraju da posjeduju garantirani kemijski sastav, čvrstoću, žilavost, granice istezanja i dr.

Čelik

Najvažniji brodograđevni materijal za izradu brodske konstrukcije je brodograđevni čelik. Brodograđevni čelik može biti običan ili povišene čvrstoće, a zadovoljava skoro sva svojstva koja se traže za brodograđevni materijal, osim nemagnetičnosti i otpornosti na koroziju. Korozija se sprječava specijalnim premazima. Osim navedenih zahtjeva, brodograđevni čelik treba biti pogodan za elektrolučno zavarivanje i da pri udaru ne puca već da se deformira. Zato se prateći elementi čelika, kao što su ugljik, mangan i silicij biraju u postotku koji osigurava ta svojstva, a poželjno je da sadržaj sumpora i fosfora bude što manji. Nedostatak običnog čelika je pojava krhkog loma pri niskim temperaturama. Čelik povišene čvrstoće ima veću cijenu, ali bolja mehanička svojstva od običnog i manju specifičnu težinu, pa se njegovom upotrebom smanjuje masa broda. Zahvaljujući njegovim mehaničkim svojstvima mogu se koristiti tanji limovi i konstrukcijski elementi manjeg poprečnog presjeka. Zbog

visoke cijene čelik povišene čvrstoće se često upotrebljava samo za pojedine elemente konstrukcije.

Prednosti:

- ekstremno čvrsta i žilava struktura,
- moguće popraviti sve deformacije jednostavnim alatom,
- dugovječnost konstrukcije,
- primjenjiv na ekstremnim temperaturama,
- monolitna konstrukcija cijelog broda bez zakovica ili vijaka na spoju trupa i palube i
- jednostavno recikliranje.

Nedostaci:

- veća težina,
- korodiranje i
- relativno visoki troškovi gradnje.

Aluminij

Aluminij i njegove legure su veoma značajni brodograđevni materijali, kako za izradu lakih nemagnetičnih brodova, tako i za izradu pojedinih dijelova i opreme čeličnih brodova. Prednost aluminijskih legura u odnosu na čelik je mala specifična masa i visoka čvrstoća u odnosu na težinu (dva puta je veća od čelika). Osim ovih svojstava, aluminijske legure su nemagnetične i otporne na krhki lom. Nedostaci aluminija u usporedbi sa čelikom, su višestruko veća cijena, mali modul elastičnosti i otežano zavarivanje. Zavarivanje aluminijskih legura se obavlja u inertnom plinu da bi se spriječilo vezivanje kisika za aluminij. U kontaktu sa drugim metalima javlja se elektrokorozija, a kako se nadgrađa brodova često izrađuju od aluminijskih legura, onda se fizički moraju odvojiti izolacijskim materijalom od čeličnog trupa poput:

- gume,
- klingerita i
- kod zavarivanja trimetal trakama.

Pored nadgrađa, od aluminija i njegovih legura na brodu se izrađuju stepenice, okviri prozora i okana, ograde i drugi dijelovi brodskog interijera.

Prednosti:

- mala specifična težina,
- otporan na osmozu,
- potrebno je minimalno održavanje,
- u usporedbi sa stakloplastikom odnos težine brodice iznad 10 m je u potpunosti u korist aluminija i raste sa veličinom brodice,
- aluminijske brodice su brže za istu snagu motora u odnosu na čelik i stakloplastiku,
- kod većih brzina ima i veću energetsku iskoristivost i
- jednostavno recikliranje

Nedostaci:

- osjetljivost na galvansku koroziju,
- otežano premazivanje zaštitnim premazima i bojama,
- niska točka tališta (650°C) i
- skuplji i složeniji postupci zavarivanja.

Drvo

Drvo je prirodni materijal što znači da je nemoguće naručiti kvalitetu, već je potrebno napraviti selekciju drva. Najvažnije svojstvo drva kao materijala jest otpornost na zamor materijala. Nedostatak drvene konstrukcije je truljenje. To je zapravo prirodno recikliranje, tj. Pretvaranje gradiva u početne sastojke. Brodograđevne tehnike koje su danas u uporabi kao npr. Furnir lijepljen na kalupu i gradnja od masivnih drvenih letvica, potpuno zatvaraju drvo u kapsulu od umjetne smole tako da ne može ni trunuti niti bubriti od vlage. Drvo je najstariji brodograđevni materijal od kojeg se danas grade samo neke vrste brodova, kao što su:

- čamci,
- jahte,
- minolovci,
- ribarski i
- manji brodovi raznih namjena.

Na metalnim brodovima obloge paluba, oprema unutrašnjosti broda i namještaj se izrađuju od drva. Drvo je materijal koji ima malu specifičnu težinu, zadovoljavajuću čvrstoću i obradivost. Odnos čvrstoće prema masi je tri puta veći nego kod čelika.

Prednosti:

- odličan toplinski i akustički izolator,
- najveći koeficijent kvalitete – odnos između njegove čvrstoće i volumne težine,
- otpornost na zamor materijala,
- ima zadovoljavajuću žilavost,
- dobro podnosi dinamička opterećenja i
- nemagnetično je.

Nedostaci:

- slabi spojevi (labavi),
- ograničen životni vijek u vlažnoj sredini (truljenje),
- podložnost štetnom djelovanju biljnog i životinjskog svijeta,
- laka zapaljivost,
- skupa gradnja,
- osjetljivu oplatu na manja oštećenja.

Plastika

U posljednjih nekoliko desetljeća plastične mase se sve više koriste za izradu brodica, brodova i unutrašnje opreme broda. Osnovne komponente plastike su poliesterske i epoksidne smole ojačane staklenim vlaknima. Plastični materijali su dobri izolatori elektriciteta i topline, otporni su na kiseline, nemagnetični su i ne korodiraju, ne trunu, otporni su na razaranja od strane biljnog i životinjskog svijeta i lako se oblikuju. Međutim, ovi materijali su skupi, imaju malu krutost, skloni su deformiranju i zagađuju životnu sredinu. Nedostaci plastike se umanjuju primjenom sendvič konstrukcije, odnosno nanošenjem plastičnih masa u više slojeva.

Prednosti:

- vrlo velika čvrstoća,
- može se postići bilo kakva brodska forma,
- ne hrđa i ne truli,
- dobar izolator elektriciteta i topline i
- relativno mali troškovi održavanja.

Nedostaci:

- osmoza,
- podložna starenju,
- nedostatak žilavosti,
- neotpornost na visoke temperature i
- nemogućnost recikliranja.

4.3. USPOREDBA ISPLATIVOSTI MATERIJALA

Osim tehničkih zahtjeva funkcionalnosti, tehnologičnosti i eksploatabilnosti, pri izboru materijala nezavisno su prisutni i kriteriji ekonomičnosti. Postojanje informacija o raspoloživosti, mogućnostima nabave i cijenama materijala bitno doprinosi nalaženju najjeftinijih vrsta, oblika, stanja i dimenzija materijala za neku konstrukciju odnosno proizvod. Bez obzira na tehničku prikladnost materijala da ispuni određene kombinacije funkcionalnih, tehnoloških ili uporabnih svojstva, ako materijal nije raspoloživ u traženom obliku, stanju, dimenzijama, količini, roku dobave i cijeni, izbor nije uspješno obavljen. Cijena materijala dio je kriterija ekonomičnosti na temelju kojeg se provodi izbor materijala, a tijekom ili nakon konstrukcijskog i tehnološkog oblikovanja izračunavaju troškovi izrade proizvoda. Osnovna cijena materijala kao i troškovi koji nastaju primjenom određene vrste, u odnosu na drugu alternativnu vrstu, uz tehničke kriterije određuju konkurentnost proizvoda na tržištu. Cijena i izravni i neizravni troškovi izazvani primjenom nekog materijala nezaobilazan su kriterij u razmatranju optimalnog konstrukcijsko-tehnološkog rješenja proizvoda ili, neovisno, samo pri usporedbi pojedinih skupina ili vrsta materijala. Cijena materijala izravno utječe na konačnu ukupnu cijenu proizvoda, bilo izravno ili kroz troškove

proizvodnih postupaka izrade. Udio cijene materijala u cijeni proizvoda kreće se od 20 do 80 %, zavisno o tipu proizvoda i primijenjenim tehnologijama.

U Europi se, zbog novih propisa, koji se najvećim dijelom odnose na sigurnost plovidbe, polako gasi proizvodnja klasičnih drvenih brodova. Osnovni problem tih brodova jest taj što, uz teško i skupo održavanje, ne omogućavaju dovoljnu sigurnost putnicima. Kada je riječ o Europskoj uniji, drveni brodovi se proizvode još samo u Italiji i to pojedinačno. Cijena klasično građenog drvenog broda je previsoka i troškovi njegova održavanja su preveliki. Klasična brodogradnja drvom egzistira uglavnom kroz održavanje i obnavljanje postojećih brodica. Što se tiče brodica od plastike imamo dvije varijante: jeftiniju poliestersku smolu te skuplju epoksidnu smolu. Poliesterska smola je popularnija zbog niže cijene i može se upotrebljavati u serijskoj proizvodnji, dok je epoksidna smola osjetno skuplja i rijetko ili gotovo nikad se ne upotrebljava u serijskoj proizvodnji. Govoreći o serijskoj proizvodnji, mora se napomenuti da se i aluminij ne upotrebljava u serijskoj, već gotovo isključivo u pojedinačnoj proizvodnji zbog više cijene materijala jer je aluminij pet do osam puta skuplji od čelika. Metalni materijali imaju određenu prednost nad plastikom jer je čelik, kao što je već navedeno, moguće reciklirati. Plastika se ne može reciklirati, a samim time povećavaju se i troškovi zbrinjavanja brodica nakon uporabe. Takva novogradnja poskupljuje zbog poreza koje nameću zakonodavne vlasti upravo zbog troškova zbrinjavanja takvih brodica. Cijena tehničkih materijala varira u širokom rasponu vrijednosti zavisno o:

- relativnoj raspoloživosti i nabavljivosti,
- obujmu proizvodnje,
- ponudi i potražnji,
- kvaliteti i kvantiteti u prodaji.

Načelno tehnički materijali se klasificiraju u dvije osnovne kategorije u ovisnosti o njihovoj cijeni. U prvoj skupini nalaze se one vrste koje se široko i često upotrebljavaju, lako i jeftino proizvode, a posjeduju zadovoljavajuća opća svojstva. To su npr. opći konstrukcijski, nelegirani čelici, sivi lijev i slično. Drugoj skupini pripadaju materijali posebnih svojstva čija je proizvodnja i prerada složenija i skuplja, a primjenjuje se u specifičnim uvjetima. To su npr. visoko-legirani čelici, super-legure i sl. granica između jeftinijih i skupljih materijala nije čvrsta i vremenski je promjenjiva. Tako, do prije nekoliko desetaka godina skupe, specijalne i rijetko primjenjive Al i Ti- legure danas su srednje visoke cijene, a šireg područja primjene.

Mnogi se poluproizvodi ili gotovi dijelovi prodaju temeljem cijene po jedinici mase, ali i po jedinici volumena ili jedinici ploštine. Svi oblici nelegiranih čelika, sivih ljevova i niskolegiranih čelika su, po masi, jeftiniji od ostalih vrsta materijala, što ukazuje na njihovu široku primjenu. Svedeno na volumen, polimerni materijali (PE,PVC,ABS,PS,PP) imaju nižu relativnu cijenu od valjanih nelegiranih čelika, dok su Al-legure neznatno skuplje. Jedna od značajki primjena analize vrijednosti je da se dobije usporedba cijene nekog proizvoda u odnosu prema najjeftinijem postojećem, ili predvidivom konstrukcijskom rješenju, a da se zadovolje njegove bitne funkcije. Ova se metoda može prilagoditi i za izbor materijala. U usporedbi materijala ponajprije se biraju one vrste koje zadovoljavaju funkcionalne zahtjeve, a ujedno da su i što jeftiniji. Pritom postoje dvije temeljne mogućnosti odlučivanja:

- odabrati najjeftiniji materijal ili
- odabrati bazno skuplji materijal, ali koji se lakše oblikuje, obrađuje ili ima bolja uporabna svojstva.

Primjena jeftinijeg materijala ne znači ujedno i uvijek dobivanje jeftinijeg proizvoda. Na primjer cijena materijala se često odnosi na jedinicu mase pa je nekad ekonomičnije platiti višu cijenu za povišenu čvrstoću jer se na taj način ugrađuje manja količina materijala i tanji presjeci. Tu je najbolji primjer aluminij, koji iako ima visoku cijenu samog materijala, ima i visoku cijenu otpadaka nastalih tokom gradnje, pa se može zaključiti da se gradnjom gubi manje novaca. Drugi primjer odnosi se na izradu velikog broja komada obradom odvajanjem čestica. Ovdje je ekonomičnije izabrati skuplji materijal , ali bolje obradivosti (rezljivosti), nego jeftiniji, ali teže obradiv. Tipičan primjer je i primjer čelika u slučaju kada se traži visoka otpornost trošenju ili korozijska postojanost. Ovdje je uvijek prisutna dilema, primijeniti skup materijal visoke otpornosti ili jeftin osnovni materijal s površinskim slojem visoke otpornosti. Odluka ovisi o visini ukupnih troškova, odnosno o traženoj trajnosti i funkciji dijela.

Tablica 8. - Usporedba sa stajališta isplativosti.

ČELIK	- optimalna cijena, - primjenjiv u serijskoj proizvodnji, - mogućnost recikliranja.
ALUMINIJ	- relativno visoka cijena, - primjenjuje se u pojedinačnoj proizvodnji, - mali troškovi održavanja.
DRVO	- visoka cijena izgradnje, - visoki troškovi održavanja, - nedovoljna sigurnost.
PLASTIKA	- jeftinija poliesterska smola i skuplja epoksidna smola, - primjenjuje se u serijskoj proizvodnji(poliesterska smola), - veći troškovi zbog nemogućnosti recikliranja.

5. PROCES GRADNJE ČELIČNE BRODICE

Prije početka gradnje broda treba podnijeti Registru na uvid ili odobrenje tehničku dokumentaciju u tri primjerka. Tehnička dokumentacija mora biti izrađena i upotpunjena potrebnim podacima, tako da je moguće provjeriti udovoljava li brod zahtjevima Pravila. Odobrenje tehničke dokumentacije potvrđuje se pečatom Registra i potpisom eksperta. Tijekom gradnje broda brodogradilište, odnosno izvođač radova mora na zadovoljstvo Registra izraditi program provjere funkcionalnosti. Tijekom gradnje brod ekspertu mora biti omogućen siguran pristup radovima koji su direktno ili indirektno vezani uz nadzor. Dužnost brodogradilišta jest povremeno izvještavati Registar o gotovosti pojedinih faza gradnje broda, kako bi ekspert mogao izvršiti pregled u svrhu utvrđivanja usklađenosti izvedbi radova s Pravilima. Cilj provjere funkcionalnosti je dokazivanje usklađenosti pregledavanih sustava, opreme i uređaja s Pravilima.

5.1. KONTROLA KVALITETE MATERIJALA

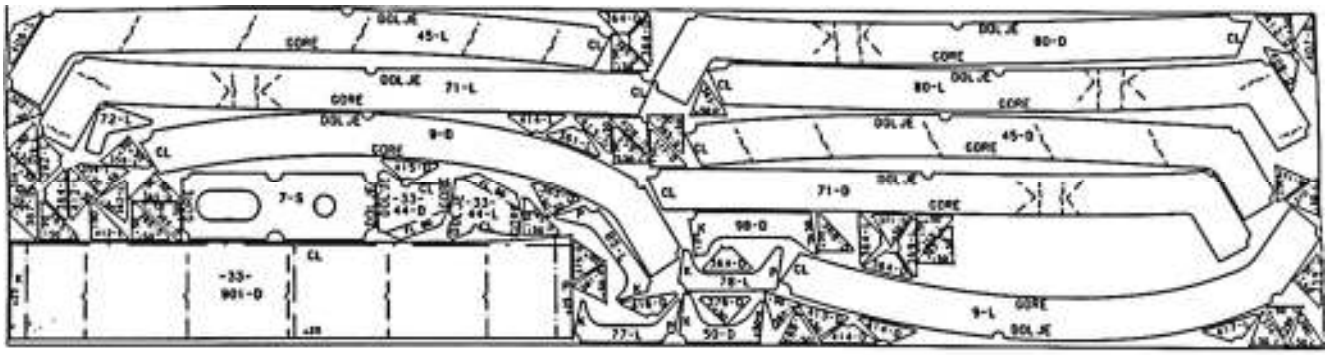
Proces izgradnje broda započinje kontrolom kvalitete pristiglog materijala. Izvođač radova (u ovom slučaju brodogradilište) dužno je prijaviti Registru pristigli materijal, te ga pozvati na kontrolu istoga. Samoj kontroli prisustvuju ekspert poslan od strane Registra, te unutarnja kontrola samog izvođača radova. Pošto pristigli materijal mora unaprijed imati tvornički certifikat, sama kontrola se odvija na vizualnom pregledu da bi se usuglasile šarže materijala (slika 8.) sa certifikatom, te da bi se utvrdilo da li je došlo do kakvih oštećenja tokom transporta ili rupičaste korozije (eng. pitting) (slika 8.). Osim vizualne, također se obavlja i kontrola ultrazvukom gdje se provjerava debljina limova (slika 8.), te da li je pitting na limu u dozvoljenim granicama. U slučaju da se materijal koristi na kritičnijim mjestima na brodu poput recimo temelja dizalice, potrebno je uz tvornički certifikat obaviti dodatno ispitivanje materijala.

Nakon završetka kontrole, ako materijal zadovoljava kriterije Registra, materijal se šalje na rezanje i savijanje prema radioničkim nacrtima. Daljnja kontrola kvalitete se viši tokom gradnje broda , poput ispitivanja penetrantima, vizualnim pregledima oplate trupa, te kasnije i ispitivanjem cjevovoda, brodske opreme te na samom kraju i pokusne plovidbe.

Slika 8. Kontrola kvalitete materijala.

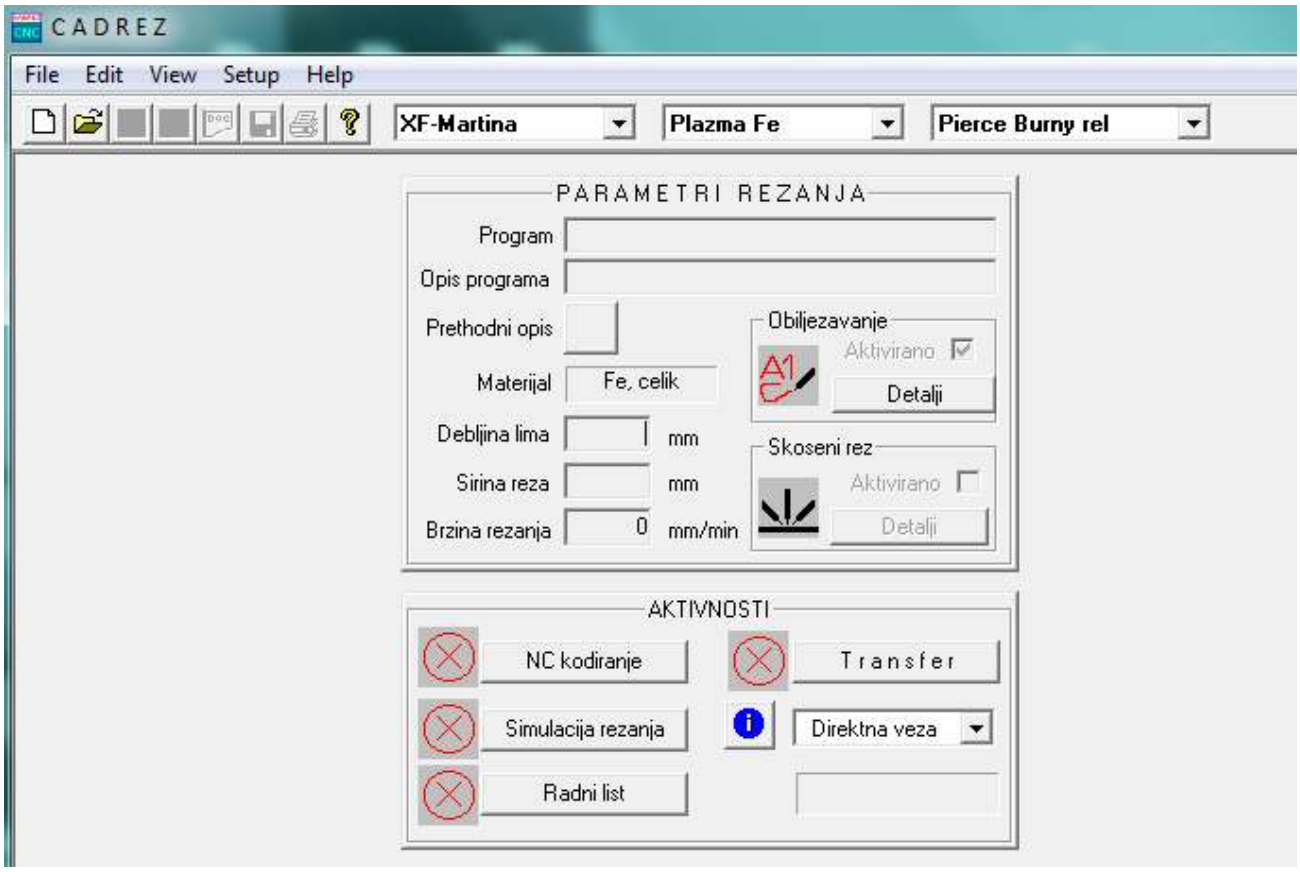
5.2. PRIPREMA I REZANJE MATERIJALA TRUPA

Priprema materijala trupa za rezanje se odvija na način da se započne s radioničkim nacrtima iz kojih možemo vidjeti pozicije limova i njihove oblike, te se kasnije po nacrtima iz nestinga limova i profila radi program za rezanje materijala koji se šalje na CNC stroj za rezanje.



Slika 9. – Primjer nacrta za CNC stroj za rezanje.

Iz primjera (slika 9.) možemo vidjeti jedan nacrt limova koji se dorađuje u AutoCAD-u jer u svakom nacrtu se nađe pokoja greška, poput duplih linija ili nezatvorenih objekata. Osim ispravljanja i dorađivanja u AutoCAD-u se također crta i put kojim će kasnije CNC stroj rezati. Kada se sve ispravi i doradi, nacrt se otvara u Cadrez CNC programu u kojemu se zadaju materijal, debljina lima, širina reza, te brzina rezanja CNC stroja (slika 10.). Nakon što je to odrađeno Cadrez CNC još jedanput provjerava put rezanja putem simulacije koji smo prethodno nacrtali, te ako je sve uredu naš nacrt prebacuje u format čitljiv CNC stroju.



Slika 10. Prikaz Cadrez programa.

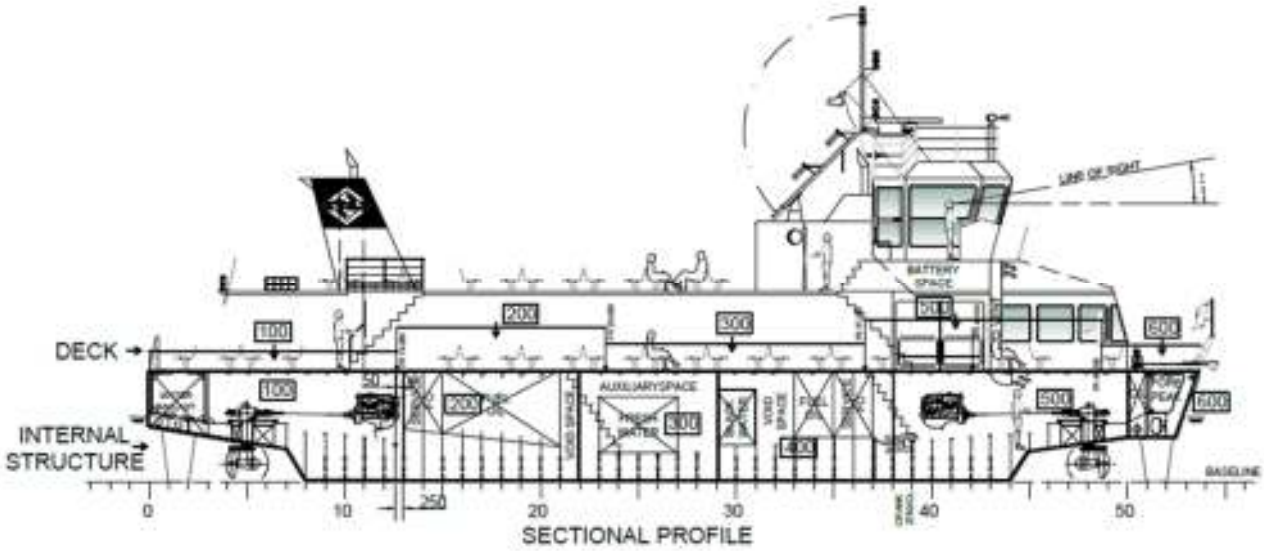
Stroj za rezanje koji smo koristili je marke UNIcut, model Martina 2500 (slika 11.), te način rezanja koji se koristi je plazmom. Na primjeru (slika 12.) možemo vidjeti CNC stroj kako prati zadani nacrt, te probija i reže materijal.

Slika 11. Prikaz CNC stroja za rezanje plazmom.

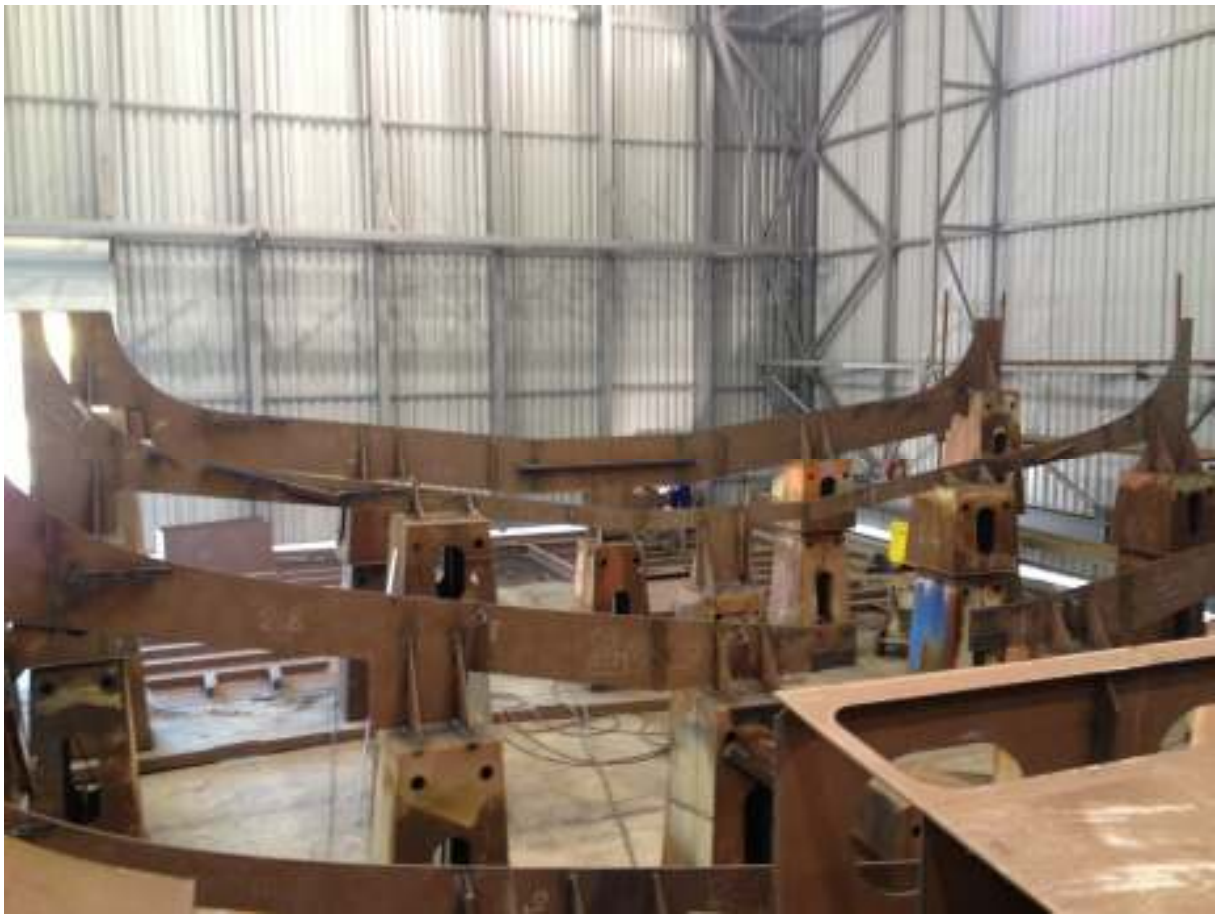
Slika 12. Prikaz rezanja lima na CNC stroju.

5.3. GRADNJA TRUPA

Na primjeru broda „HARBOUR SPIRIT“, za razliku od načina gradnje većine brodova gdje se prvo polaže kobilica, sama gradnja je započela postavljanjem koljevke broda koja je služila kao daljnja šablona u izgradnji trupa (slika 14.). Nakon postavljanja i centriranja koljevke počela je izgradnja kobilice. Prva sekcija koja se gradila je bila sekcija 300 (slika 13.), koja je ujedno i središnji dio broda. Nakon izrade kobilice i odobrenja Registra počeli su se postavljati limovi oplate dna broda, te rebra i uzdužnjaci.



Slika 13. Plan sekcija broda



Slika 14. Koljevka broda.

Pri završetku dna broda, počela se raditi oplata bokova broda sa svojim pripadajućim uzdužnjacima. Istovremeno se na tlu gradila paluba sa pregradama unutarnjeg djela trupa. Način gradnje je bio takav da se sve gradilo naopačke, te se kasnije rotiralo i postavljalo u okvir trupa broda zajedno s pripadajućim tankovima od kojih su neki bili dio konstrukcije, a drugi ugradbeni (slika 15.). Završetkom sekcije 300, ponovo je pozvan Registar da ekspert odobri sekciju. Nakon sekcije 300 uslijedile su sekcije 200, 400, 100, 500 i 600 koje su građene na jednak način te se na posljetku sve skupa zavarilo. Koristila su se dva načina zavarivanja, a to su:

- Kontinuirani zavar – što znači da se zavarivalo po cijeloj dužini koja je spajala dva lima. Taj način zavarivanja se koristio kod zavarivanja kobilice, oplate trupa, te pregrade, ali je to bio samo izuzetak kod tankova.
- Isprekidani kutni zavar – što znači da se ne zavaruje po cijeloj dužini spoja već isprekidano, u ovom slučaju, svakih… Ovakav način zavarivanja se koristio kod pregrada, palube, kormilarnice i sl.

Slika 15. Gradnja trupa.

Kod zavarivanja čelika uvijek dolazi do naprezanja unutarnjih sila unutar samog materijala zbog velikih toplina pri zavarivanju. Zona utjecaja topline je dio osnovnog materijala, koji se nalazi neposredno uz rastaljenu zonu, a gdje dolazi do promjene kristalne strukture i mehaničkih svojstava zbog topline unesene zavarivanjem, stoga se nakon zavarivanja treba i ravnati trup također grijanjem materijala da bi se ispravile sve nastale nepravilnosti na trupu.

Metode zavarivanja koje su se koristile su:

- MAG - (Poluautomatski ili automatski postupak, koji koristi stalno dovođenje gole žice kao elektrode za zavarivanje, a zaštićen je sa neutralnom mješavinom plinova (u ovom slučaju argonom)
- Ručno elektrolučno - (Zaštitu električnog luka i taline zavara od okolnog zraka obavljaju uglavnom plinovi i troska, koji nastaju pri taljenju i kemijskim reakcijama mineralne obloge potrošne elektrode)
- Zavarivanje pod praškom - (Taljiva elektroda u obliku žice; rastaljeni mineralni prašak štiti električni luk)

Kada se kompletno zavari podvodni dio trupa potrebno je ispitati nepropusnost svih zavara. Ispitivanje nepropusnosti se vrši penetrantima (slika 17.), tj. crvenom tekućinom rjeđom od vode koja se može zavući i u najsitnije pore zavara. Penetrant se nanosi kistom s unutarnje strane trupa (slika 18.), te se s vanjske strane razvijačem u spreju koji je bijele boje špricaju zavari. Nakon 10-15min, ako postoji ikakvo propuštanje na varovima crveni penetrant počinje izvirati na površinu te se vizualnim pregledom pregleda trup i uoče se mjesta propuštanja (slika 19.).

Slika 16. Prikaz penetranta i razvijača.

Slika 17. Nanošenje penetranta po zavarima kobilice.

Slika 18. Prikaz probijanja penetranta kroz zavar.

Trup broda je izgrađen od raznih oblika i debljina limova i profila. Debljine limova koje su se koristile pri izgradnji su od 12,10,8,6 i 5 mm, a sveukupna težina materijala utrošenog u izgradnju trupa je 68 tona. Korišteni materijal je obični brodograđevni čelik kvalitete A.

Kada je trup broda u potpunosti bio zavaren i izravnan uslijedila je gradnja glavne palube (slika 19.). Kako je brod namijenjen prijevozu bicikla, motocikala i putnika, podijeljen je na dva dijela. Sa lijeve strane je prazan prostor za ukrcaj motocikala i bicikli, kod će sa desne strane kasnije doći sjedeća mjesta za putnike, uz pokoje sjedeće mjesto na pramcu i krmi. Lijevu i desnu stranu dijeli niz pregrada unutar kojih su toaleti, te ulazi u pramčanu i krmenu strojarnicu te središnji dio trupa gdje je tank pitke vode. Izgradnja glavne palube se vršila na identičan način poput unutarnje konstrukcije trupa, što znači da se sve radilo naopačke te također montiralo od sredine prema krajevima, te se na kraju automatski dobila i površina gornje palube. Gornju palubu sačinjavaju dva dimnjaka na krmi od kojih je samo desni u funkciji dok je lijevi postavljen radi stabiliteta i vizualnog izgleda. Na pramčanom dijelu dolazi kormilarnica (slika 19.), te prostor za kapetana broda i posadu s malom kuhinjom i toaletom. Konstrukcija kormilarnice se također gradila odvojeno te kasnije montirana i zavarena na brod.

Slika 19. Gradnja glavne i gornje palube, te gradnja kormilarnice.

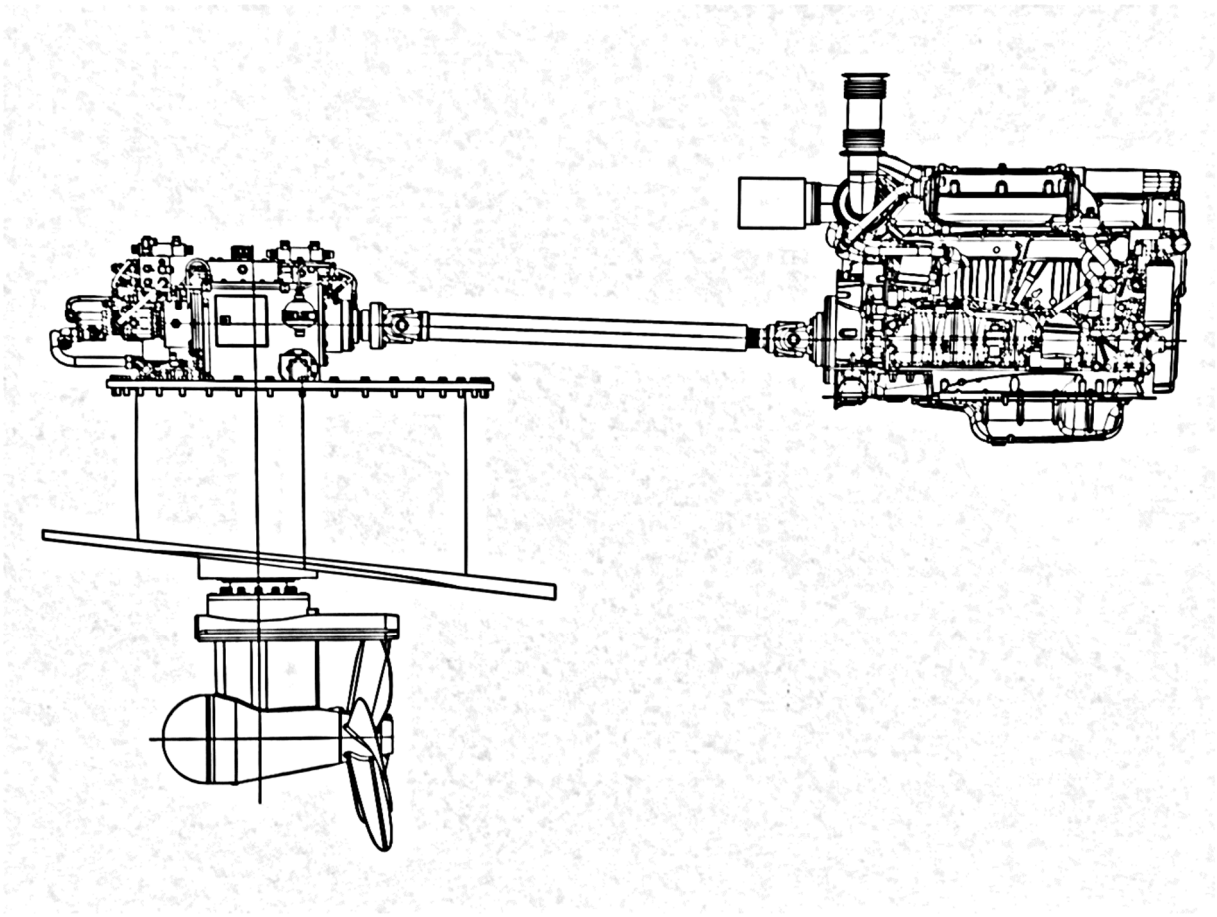
Kako što smo prije spomenuli ovaj brod ima dvije strojarnice od kojih je jedna na pramcu a druga na krmi što se rijetko viđa. Dakle nema tipičan način pogona sa jednom ili više osovina te propelerom i kormilom, već ima dva propulzora radi lakšeg manevriranja prometnom rijekom. Pošto se koristi takav način pogona, brod automatski nema niti kormilo već samo pramčanu i krmenu peraju radi lakšeg zadržavanja pravca po rijeci.

5.4. OPREMANJE I PRIMOPREDAJA BRODICE

Do faze opremanja dolazi u trenutku kada je konstrukcija broda završena i odobrena od strane Registra. Samo opremanje započinje pjeskarenjem kompletnog broda, te tlačenjem tankova kako bi se provjerila njihova nepropusnost. Nakon toga slijedi postavljanje cijevi koje su prethodno nacrtane u 3D modelu kako kasnije ne bi došlo do odstupanja tijekom postavljanja i spajanja. Nakon 3D modela cijevi odlaze u radionu te se po nacrtima savijaju i zavaruju pripadajuće prirubnice. Po završetku tog procesa, neke od cijevi se šalju na cinčanje ovisno o namjeni cijevi, te se sve zajedno šalje u brodogradilište. (slika cijevi). Nakon postavljanja cijevi slijedi postavljanje i centriranje propulzora, te samih motora. Proces započinje na način da se prvo postavlja strukturna cijev (slika) propulzora vodeći računa da bude u zadanim dimenzijama, te paralelna sa uzdužnom i poprečnom ravninom baze samoga broda. Nakon centriranja, strukturna cijev se zavaruje.

Slika 20. Strukturna cijev propulzora.

Sljedeći korak je ubacivanje u strukturnu cijev propulzorske jedinice koja se sastoji od propelera koji rotira 360° oko svoje osi, te reduktora.(slika). Da bi se mogao centrirati motor potrebno je spojiti motor s reduktorom pomoću osovine, no da se ne bi koristila originalna osovina da ne dođe do oštećenja, izrađen je uzorak osovine koji se koristio prilikom centriranja motora. Sam proces centriranja započinje na način da se uzorak osovine kruto spojio na motor. Motor je predviđen da leži na elastičnim nosačima, pa su se uz same nosače trebale izradit naprave za centriranje, koje su postavljene ispod baze elastičnih nosača. Centriranje motora se vršilo po uzdužnoj i poprečnoj osi, te po visini. Razlog centriranja motora je bio to da se prirubnica na osovini poravna sa prirubnicom reduktora kako ne bi bilo nikakvih odstupanja kada se postavi originalna osovina. Nakon što je motor centriran, te su se poravnale prirubnice, oko temelja motora su se izradile „kadice“ koje su služile kao kalup za epoksidnu smolu koja koju će se kasnije uliti u „kadice“ kako bi popunila prostor između nosača motora i samog temelja na trupu pošto su nosači trenutno stajali na vijcima od naprave za centriranje, te stvorila čvrsti temelj. Prije ulijevanja same smole probušile su se rupe nosača motora u temelju motora na trupu te se privremeno umetnule izolacijske spužve kako se ne bi kasnije moralo ponovo bušiti i da bi bile vidljivi sami provrti na trupu kako bi bili sigurni da nije došlo do pomicanja motora. Nakon 24 sata od ulijevanja smole vadile su se izolacijske spužve, te vijci naprava za centriranje koji su prethodno bili podmazani kako bi se lake izvadili. Na mjesta gdje su bile izolacijske spužve postavili su se vijci temelja motora, te se pritegli moment ključem.



Slika 21. Prikaz pogonskog sustava.

Uz sam taj proces postavljanja pogona započinje i daljnje opremanje poput farbanja broda, te postavljanja prozora, ograda, stolica na glavnoj palubi te bokobrana. Dva mjeseca prije završetka opremanja brod se porinuo u more, te se ostatak opremanja vršio na moru. Farbanje je poput i svega ostalog proces za sebe u koji u ovom primjeru nećemo ulaziti, ali postoji jedan zanimljiv podatak, a to je težina nanesene farbe na brod koji se može vidjeti u tabličnom prikazu.

Tablica 9. Prikaz težine boje.

težina boje na gr 98				
	l	bruto (-40%)	KG	osušen kg (-VOC)
hardtop	190	114	139,08	91,77
jota armour	759	455,4	651,222	619,344
universal n10	2239	1343,4	1840,458	1356,834
penguard	362	217,2	321,456	230,232
pilot II	91	54,6	57,876	35,49
pilot QD	159	95,4	148,5378	108,4698
safeguard ES	96	57,6	80,64	59,904
seaforce 90	115	69	117,3	89,7
seaquantum	94	56,4	98,7	72,192
tankguard	15	9	14,13	13,23
		ukupno		**2677,1658**

Pošto je brod tokom cijele izgradnje stajao paralelno sa obalom, a za vršenje porinuća je trebao stajati okomito na obalu, trebala se izgraditi nova koljevka koja će se koristiti u svrhu okretanja broda za 90°. Zbog težine broda od 250 tona i velikog rizika zbog mogućeg oštećenja broda, koljevka se trebala pomno projektirati da bi izdržala nosivost broda i samo okretanje. Srećom u brodogradilištu smo već od prije imali gotove čelične stupove (slika) koje smo iskoristili te ih međusobno povezali i time dobili ukupnu nosivost koljevke od 1000 tona, što nam je omogućilo siguran proces okretanja broda. Samo okretanje se vršilo pomoću hidrauličkih cilindara koji su bili postavljeni na aluminijske staze koje su na sebi imali postoje sa kotačićima, koje su hidraulični cilindri malo po malo sa jedne strane vukli prema sebi, a sa druge gurali (slika). Kada bi se dostigla granica do koje su cilindri mogli vući ili gurati postolje proces bi se zaustavio, brod bi se podigao, te su se ispod koljevke postavljale drvene grede kako bi se oslobodile aluminijske staze koje su se onda mogle lagano zarotirati i tako se ponavljao proces dok se brod nije zarotirao za 90°.

Slika 22. Prikaz aluminijskih staza s hidrauličkim cilindrima.

Slika 23. Prikaz okretanja broda.

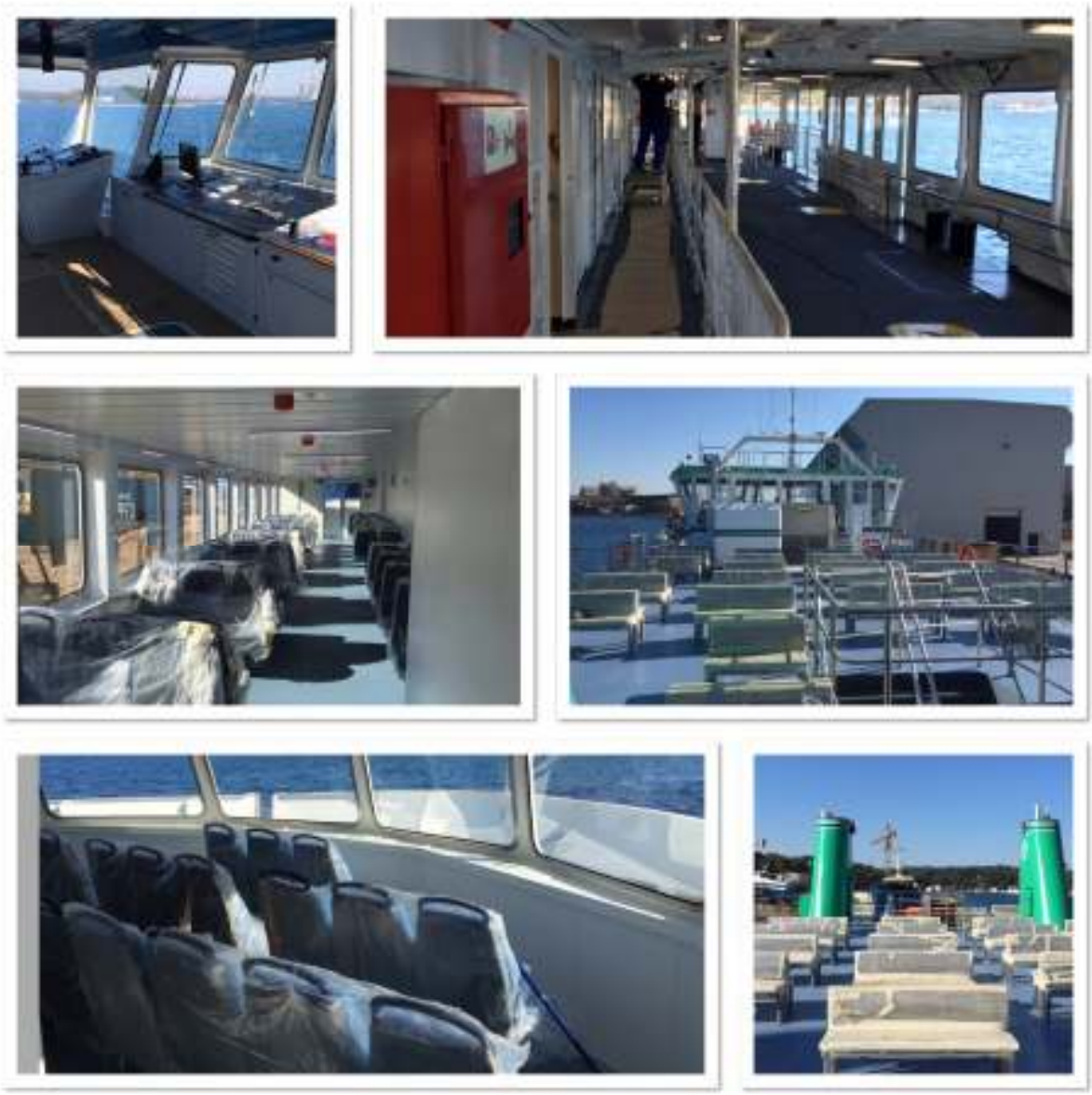
Porinuće broda se vršilo pomoću Avangardo-ove „Travel Lift“ dizalice koja je podignula brod, prevezla ga na vlastiti ponton, te ga spustila u more.

Slika 24. Porinuće broda „HARBOUR SPIRIT“

Opremanje broda je širok pojam i obuhvaća sve od samog postavljanja cjevovoda, pa do lampe za sidrenje na vrhu jarbola. Opremanje broda se djelom odvija po nacrtima, a djelom na licu mjesta po formi broda poput izolacije ili oblaganja limova gipsanim pločama. Namještaj te razni elementi po brodu poput kuhinja, toaleta, pulta u kormilarnici i sl., se naručuju posebno te gotovi ugrađuju u brod

U opremanje broda spada:

- postavljanje cjevovoda,
- centriranje i postavljanje motora,
- postavljanje pomoćnih generatora,
- postavljanje kabelskih staza i samih kablova,
- ograda broda,
- prozori,
- rasvjeta,
- namještaj,
- oprema za spašavanje,
- farbanje,
- signalna i navigacijska oprema, te mnoge druge stavke.



Slika 25. Prikaz opremljenog broda.

Kada se brod opremi do kraja dolazi do pokusne plovidbe sa ekspertom od strane Registra te inspektorom od strane naručitelja broda ili sam naručitelj. Prvo se provodi odobrenje tehničke dokumentacije i pregled broda. Tijekom pokusne plovidbe brod ne smije prevoziti teret ni putnike, nego isključivo posadu i osobe zaposlene na brodu u svrhu izvođenja radova i ispitivanja. Ako pokusna plovidba zadovolji zahtjeve Registra, na osnovi izvršenog nadzora brodu se izdaje svjedodžba o sposobnosti broda za obavljanje pokusne plovidbe. Pregled obuhvaća provjeru da li je brod građen pod nadzorom i u skladu s propisima i odobrenom tehničkom dokumentacijom i provjerom funkcionalnosti brodskih sustava.

Nakon što brod dobije odobrenje od registra, može započeti primopredaja broda vlasniku gdje se trebaju ispuniti još pokoji zahtjevi naručitelja poput kompletne tehničke dokumentacije, svih certifikata te instrukcijskih knjiga.

Pošto je ovaj brod bio za engleskog naručitelja, pa se transport nije mogao odvijati kopnenim putem zbog veličine same brodice, niti je brod namijenjen za otvorena mora, pa je po sam brod trebao doći tako zvani „Heavy lift“ brod koji ga je pomoću svojih dizalica ukrcao u svoj trup broda te otplovio za Englesku.

Slika 26. Ukrcaj broda

Glavne značajke broda:

- Duljina preko svega – 32.90 m,
- Širina – 10.20 m,
- Visina do gornje palube – 2.40 m,
- Konstruktivni gaz – 1.95 m,
- Snaga pogona – 2x294 kW,
- Brzina – 10 čv,
- Kapacitet putnika – 300,
- Težina – 250 t,
- Materijal gradnje – brodograđevni čelik kvalitete A.

6. ZAKLJUČAK:

Prilikom izbora materijala uvijek postoji nedoumica koji je materijal onaj pravi. Svaki materijal ima svoje dobre i loše strane, pa prema tome bi trebalo biti svejedno od čega se gradi naša brodica. Međutim ako razmišljamo o sigurnosti, velika je vjerojatnost da ćemo izabrati čvršći i najpouzdaniji materijal a to je čelik. Ako razmišljamo o sigurnosti, a ujedno želimo i postići veću brzinu, onda biramo aluminij. Želimo li natjecateljsku brzinu, biramo plastiku, a volimo li prošlost i bitnija nam je doza luksuza od ostalog, biramo drvo. Na kraju krajeva ne možemo reći to je najbolji materijal za brodogradnju, jer kao i za sve drugo do samog izbora materijala će doći ovisno o našem ukusu i našim potrebama, ovisno namjeni i uvjetima plovidbe.

7. POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1. - Dijagram postupka poboljšavanja čelika……...13

Slika 2. - Shematski prikaz oblika korozije……..18

Slika 3. - Profili u brodogradnji……19

Slika 4. - Čvrstoća stvarnih i idealiziranih elastičnih potpuno-plastičnih materijala (σ-ε dijagram)……21

Slika 5. - Grafički prikaz ispitivanja vlačne čvrstoće epruveti…….21

Slika 6. - Grafički prikaz udarnog ispitivanja epruveti…….22

Slika 7. - Epruvete prije i nakon ispitivanja……..22

Slika 8. - Kontrola kvalitete materijala……..…….…….43

Slika 9. – Primjer nacrta za CNC stroj za rezanje…….44

Slika 10. – Prikaz Cadrez programa……..45

Slika 11. – Prikaz CNC stroja za rezanje plazmom……..46

Slika 12. – Prikaz rezanja lima na CNC stroju…….47

Slika 13. – Plan sekcija broda……...48

Slika 14. – Koljevka broda……48

Slika 15. – Granja trupa……50

Slika 16. - Prikaz penetranta i razvijača……51

Slika 17. – Nanošenje penetrantima po zavarima kobilice……...52

Slika 18. – Prikaz probijanja penetranata kroz zavar……52

Slika 19. – Gradnja glavne i gornje palube, te gradnja kormilarnice……54

Slika 10. – Strukturna cijev propulzora……55

Slika 21. – Prikaz pogonskog sustava……...57

Slika 22. – Prikaz aluminijskih staza s hidrauličnim cilindrima……...59

Slika 23. – Prikaz okretanja broda……59

Slika 24. – Porinuće broda……60

Slika 25. – Prikaz opremljenog broda……...61

Slika 26. – Ukrcaj broda……...62

Tablica 1. – Kemijski sastav, postupak dezoksidacije i mehanička svojstva čelika normalne čvrstoće……...9

Tablica 2. – Kemijski sastav, postupak dezoksidacije i mehanička svojstva čelika povišene čvrstoće……..10

Tablica 3. - Mehanička svojstva čelika povišene čvrstoće s Remin = 390 N/mm²……...…...11

Tablica 4. - Mehanička svojstva brodograđevnih čelika za niske temperature……....12

Tablica 5. - Mehanička svojstva čelika visoke čvrstoće……...……....14

Tablica 6. - Mehanička svojstva čelika za površine temperature……16

Tablica 7. - Čelici žilavi na niskim temperaturama……..17

Tablica 8. - Usporedba sa stajališta isplativosti……41

Tablica 9. – Prikaz težine boje……..58

8. POPIS LITERATURE

1. Udruga Bibliografija o Jadranu : „Mala brodogradnja“, Zbornik radova, Rijeka, 2007.g.
2. Inženjersko tehnički priručnik, šesta knjiga, „Materijali“ Izdavačko preduzeće „Rad“, Beograd, 1979.g.
3. Furlan Lučin Pavelić : „Osnove brodogradnje“, drugo izdanje, „Školska knjiga“, Zagreb, 1989.g.
4. Filetin, T., Kovačiček, F., Indolf, J.: „Svojstva i primjena materijala“ Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011.g.
5. Grubišić, I.: „Konstrukcija malih brodova“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005.g.
6. Filetin Tomislav: „Izbor materijala pri razvoju proizvoda“, Fakultet strojarstva i brodogradnje“, Zagreb, 2000.g.
7. Materijali u brodogradnji, s Interneta, http://www.fsb.unizg.hr/kziha/shipconstruction/main/trgovbrod/6materijali.pdf
8. Materijali u brodogradnji, s Interneta, http://www.nautickiforum.com/Forum/index.php?topic=172.0
9. Filetin, T.: „Trendovi razvoja i primjene materijala“, s Interneta, http://titan.fsb.hr , 2000.g.
10. Dokumentacija iz Tehnomont Brodogradilište Pula d.o.o.