

# Postupak gradnje trupa aluminijskog motornog plovila dužine 12 metara

---

Šimić, Marko Delano Johannes

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:190:748518>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Preddiplomski stručni studij brodogradnje

Završni rad

**POSTUPAK GRADNJE TRUPA ALUMINIJSKOG MOTORNOG  
PLOVILA DUŽINE 12 METARA**

Rijeka, rujan 2022.

Marko Delano Johannes Šimić  
0069060124

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Preddiplomski stručni studij brodogradnje

Završni rad

**POSTUPAK GRADNJE TRUPA ALUMINIJSKOG MOTORNOG  
PLOVILA DUŽINE 12 METARA**

Mentor: prof. dr. sc. Roko Dejhalla

Rijeka, rujan 2022.

Marko Delano Johannes Šimić  
0069060124

Rijeka, 5. ožujka 2020.

Zavod: **Zavod za brodogradnju i inženjerstvo morske tehnologije**  
Predmet: **Gradnja i održavanje malih plovni objekata**  
Polje: **2.02 Brodogradnja**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Marko Delano Johannes Šimić (0069060124)**  
Studij: **Preddiplomski stručni studij brodogradnje**

Zadatak: **POSTUPAK GRADNJE TRUPA ALUMINIJSKOG MOTORNOG PLOVILA  
DUŽINE 12 METARA / THE CONSTRUCTION PROCESS OF BUILDING A  
12-METER ALUMINIUM MOTOR BOAT**

### Opis zadatka:

Izraditi popis potrebnog materijala za gradnju trupa aluminijskog plovila dužine 12 metara.  
Odabrati postupak i parametre zavarivanja te definirati redoslijed zavarivanja svih elemenata trupa plovila.

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

Zadatak uručen pristupniku: 16. ožujka 2020.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

Prof. dr. sc. Roko Dejhalla

---

Prof. dr. sc. Albert Zamarin

---

Prof. dr. sc. Duško Pavletić (komentor)

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET  
Preddiplomski stručni studij brodogradnje

### **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

U Rijeci, 20. rujna 2022.

---

Marko Delano Johannes Šimić  
0069060124

# SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. MATERIJAL ZA GRADNJU TRUPA PLOVILA	3
2.1. Prikaz konstrukcijskih elemenata	4
2.2. Grupiranje konstrukcijskih elemenata po debljinama zbog nabave materijala	11
2.3. Plan rezanja više konstrukcijskih elemenata iste debljine iz jednog lima	11
2.4. Potrebna količina materijala	14
3. IZRADA KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA	15
3.1. Rezanje limova i profila	15
3.2. Predmontaža konstrukcijskih elemenata	16
3.2.1. Limovi	16
3.2.2. Profili	17
4. ZAVARIVANJE	18
4.1. Zavarivanje aluminijskih legura	18
4.2. Postupak gradnje trupa	18
4.2.1. Izrada kolijevke trupa	19
4.2.2. Glavna paluba	22
4.2.3. Paluba kormilarnice	23
4.2.4. Vodnepropusne pregrade	23
4.2.5. Rebra u području pramca	24
4.2.6. Kobilica i sidrena niša	24
4.2.7. Dijelovi rebara sa temeljem propulzora	25
4.2.8. Pokrov tankova goriva	26
4.2.9. Rebra u području tankova goriva	27
4.2.10. Nosači motora	27
4.2.11. Uzdužnjaci	28
4.2.12. Vanjska oplata	28
4.3. Plan zavarivanja	29
4.3.1. Radna uputa za zavarivanje	29
4.3.2. Zapis o kvalifikaciji postupka zavarivanja	29
4.3.3. Atest zavarivača	29
4.4. Redoslijed zavarivanja	31
4.5. Ispitivanje zavarenih spojeva	34
5. ZAKLJUČAK	36
LITERATURA	37
POPIS SLIKA	38
POPIS TABLICA	39

## 1. UVOD

U ovom radu se opisuje postupak gradnje trupa aluminijskog motornog plovila dužine 12 metara, (slike 1.1. i 1.2.). Osnovne karakteristike brodice su duljina od 11,99 m, širina je 3,95 m te maksimalna istisnina iznosi 11,2 t. Maksimalna brzina s najslabijim postrojenjem (2 x Volvo Penta IPS 400) iznosi 32 čv. Dva motora snage su po 221 kW i nose oznaku Volvo IPS 400. Osim najslabijeg postrojenja, moguća su i Volvo Penta IPS 450 te Volvo Penta IPS 500. Može se opisati kao gliserska forma modernih i čistih linija koja je prilagođena IPS pogonu i tako omogućuje nižu potrošnju goriva za 25 do 30 posto. Interijer se sastoji od ukupno tri dvokrevetne kabine s visinom od 2 m te krevetima širine 1,60 m koje čine ergonomski rješenja jedinstvena za ovu klasu plovila. Također ima dva sanitarna čvora, kuhinju i salon. Hidraulička okretna preklopna klupa na krmi povećava površinu kokpita za 2 m<sup>2</sup>. Otvaranjem klupa dobije se neprekinuta ravna površina od silaska u potpalublje pa do kraja otvorene rampe duljine 6 m, što je značajna duljina za ovu veličinu plovila. Važno je spomenuti i da se otvaranjem klupe pod kokpita povećava na ukupnih 7,5 m<sup>2</sup>. Prostrana petometarska prednja paluba s laganim prelukom plijeni svojom ljepotom i pobuđuje maštu. Ultrazvučni sustav protiv obrastanja umnogome olakšava održavanje podvodnog dijela trupa tako da se plovilo neće morati vaditi izvan mora. Osim toga, grijana prednja stakla u kormilarnici omogućuju nesmetanu vidljivost te onemogućuju orošavanje. Sve prostorije brodice su klimatizirane.

Svrha ovog rada je opisati slijedeće:

- Ukupan potreban materijal za gradnju trupa plovila. Prvo se mora prikazati karakteristične presjeke trupa aluminijskog plovila iz kojih se izračunaju potrebna količina konstrukcijskih elemenata. Drugo se izrađuje „nesting“ skica rezanja više konstrukcijskih elemenata iste debljine iz jednog lima iz kojih se može točno definirati ukupna količina materijala potrebno za gradnju trupa aluminijskog plovila od 12 m.
- Kako se izrađuju konstrukcijski elementi. Definirati kojom se opremom i kojim postupcima obavlja proces rezanje limova i profila. Predmontaža konstrukcijskih elemenata u složenije oblike (na primjer: rebro iz više elemenata, vanjska oplata iz više limova te profili spojeni iz više komada) koje se kasnije montiraju u procesu ukрупnjavanja trupa.
- Postupak gradnje trupa, zavarivanje i ispitivanje zavarenog spoja. Definirati upute o zavarivanju. Postupak gradnje trupa plovila od izrade i postavljanje koljevkice do opločenja vanjske oplata. Definirati plan zavarivanja tijekom postupka gradnje i redoslijed zavarivanja. Tijekom i nakon zavarivanja potrebno je provoditi ispitivanja

zavarenih spojeva te dimenzionalnu kontrolu trupa aluminijskog plovila. Time bi se na vrijeme uočila eventualna pogreška te se ispravila na vrijeme kako bi se skratilo vrijeme i troškovi gradnje.

Osnovni ulazni podaci za gradnju trupa aluminijskog plovila su nacrti strukture, vrsta materijala, oprema za izradu trupa, standardi gradnje, norme, te radne upute o zavarivanju.



*Slika 1.1. Brodica od aluminija*



*Slika 1.2. Opremljena brodica*



## 2. MATERIJAL ZA GRADNJU TRUPA PLOVILA

Odabrani materijal za gradnju trupa plovila je aluminijska legura serije 5000 (AW 5083/H116) čija mehanička svojstva su prikazana u tablici 2.1.. Danas se aluminijske legure sve više koriste u području brodogradnje i maritimnoj (pomorskoj) industriji, ali čelik još uvijek vodi kao osnovni materijal za gradnju. Glavna prednost aluminija u odnosu na čelik je manja specifična masa te nije potrebno održavanje zbog korozije. Specifična masa čelika iznosi  $7850 \text{ kg/m}^3$ , a specifična masa aluminijskih legura iznosi  $2660 \text{ kg/m}^3$ .

Aluminijske legure obuhvaćaju skupinu od nekoliko stotina različitih slitina, a klasificiraju se prema legiranim elementima koje se nalaze u njima.

Od svih slitina za primjenu u brodogradnji zanimljive su slitine koje garantiraju sljedeća svojstva [11]:

- dostupnost poluproizvoda (limova, profila te ukrepljenih panela) koji imaju oblik i dimenzije zahtijevane projektom rješenjem,
- dobru mehaničku obradu prema svim tehnologijama proizvodnje, posebice zavarivanju,
- otpornost na koroziju uslijed djelovanja morske vode,
- cijenu koja je kompatibilna sa ostalim brodograđevnim materijalima.

Problem kod aluminijskih legura predstavlja smanjenje mehaničkih svojstava uslijed izvođenja zavarenih spojeva.

Fenomen gubitka mehaničkih svojstava aluminijskih legura, posebno u zoni utjecaja topline, podudara se sa strukturnim pukotinama između osnovnog materijala koji se zavaruje i materijala za ispunu. Takve pukotine imaju negativan utjecaj na otpornost zavarenih spojeva na zamor materijala. Otpornost aluminijskih legura na zamor materijala u startu je oko tri puta manja u odnosu na čelik [11].

Tablica 2.1. Mehanička svojstva [11].

Legura	Kemijski sastav %	Minimalna čvrstoća	Metalurška oznaka	Specifična masa, $\text{kg/m}^3$	Točka taljenja, $^{\circ}\text{C}$
AA5083	Mg: $4,0 \div 4,9$ Mn: $0,4 \div 1,0$ Cr: $0,05 \div 0,25$ Cu + Fe + Si + Zn $\leq 1,15$ Ti: $\leq 0,15$	Za debljine $\leq 12,5$ mm Rp0.2 $\geq 125$ MPa Rm $\geq 275$ MPa A50 $\geq 14\%$	0	2,66	640
		Za debljine $\leq 10$ mm Rp0,2 $\geq 215$ MPa Rm $\geq 305$ MPa A50 $\geq 10\%$	H321		

## 2.1. Prikaz konstrukcijskih elemenata

Trup plovila se definiše radioničkim skicama (slike 2.1.1., 2.1.2., 2.1.3., 2.1.4., 2.1.5., 2.1.6. i 2.1.7.) i tablicom 2.1.1. kojom se opisuje od kojih se konstrukcijskih elemenata trupa sastoji te koja je njihova međusobna povezanost. Također se skicama označuju pozicijski brojevi svakog elementa trupa, kote s dimenzijama potrebne za dimenzionalnu kontrolu i oznake zavara svakog zavarenog spoja (sučeljeni ili kutni spoj).

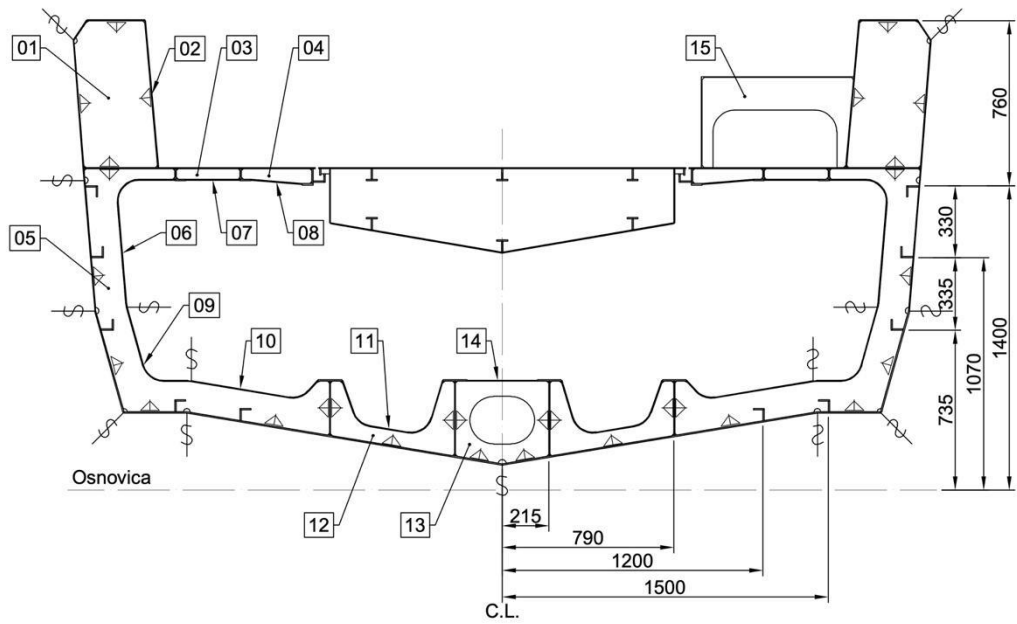
Konstrukcijski elementi se funkcionalno dijele na:

1. Dno - oplata dna, tunnelska hrptenica, uzdužni bočni nosači, rebrenice, uzdužnjaci dna, koljena i ukrepe - konstrukciju dna i dvodna trupa plovila su limovi aluminijske debljine 6 mm.
2. Bok – oplata boka, uzdužnjaci boka, rebra boka - konstrukcija boka trupa plovila su limovi debljine 4 mm.
3. Pregrade – pljuskače, nepropusne i ukrepe. - konstrukcija pregrade trupa plovila su limovi debljine 4 mm.
4. Paluba – oplata palube, uzdužnjaci palube, sponje i podveze - konstrukcija palube su limovi debljine 4 mm
5. Linica – oplata linice, rebra i uzdužnjaci – konstrukcija linice su limovi debljine 4 mm

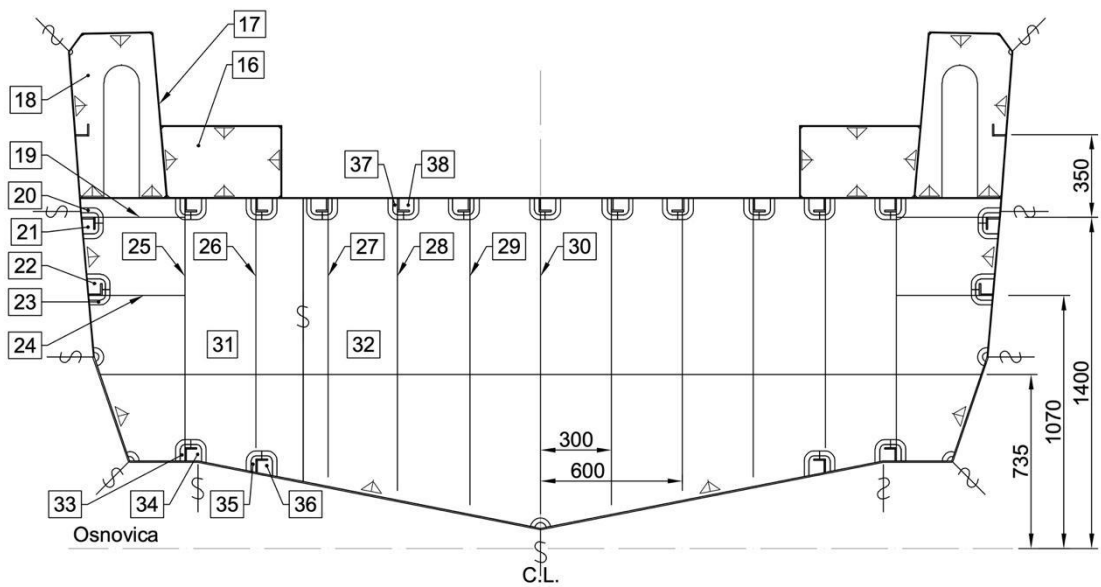
Tablično se prikazuju svi konstrukcijski element aluminijskog plovila s sljedećim podacima:

1. dimenzije lima (A x B, mm) ili profila (L, mm);
2. površina bruto, m<sup>2</sup> – površina lima sa viškom
3. površina neto, m<sup>2</sup> – površina lima bez viška
4. masa bruto, kg
5. masa neto, kg

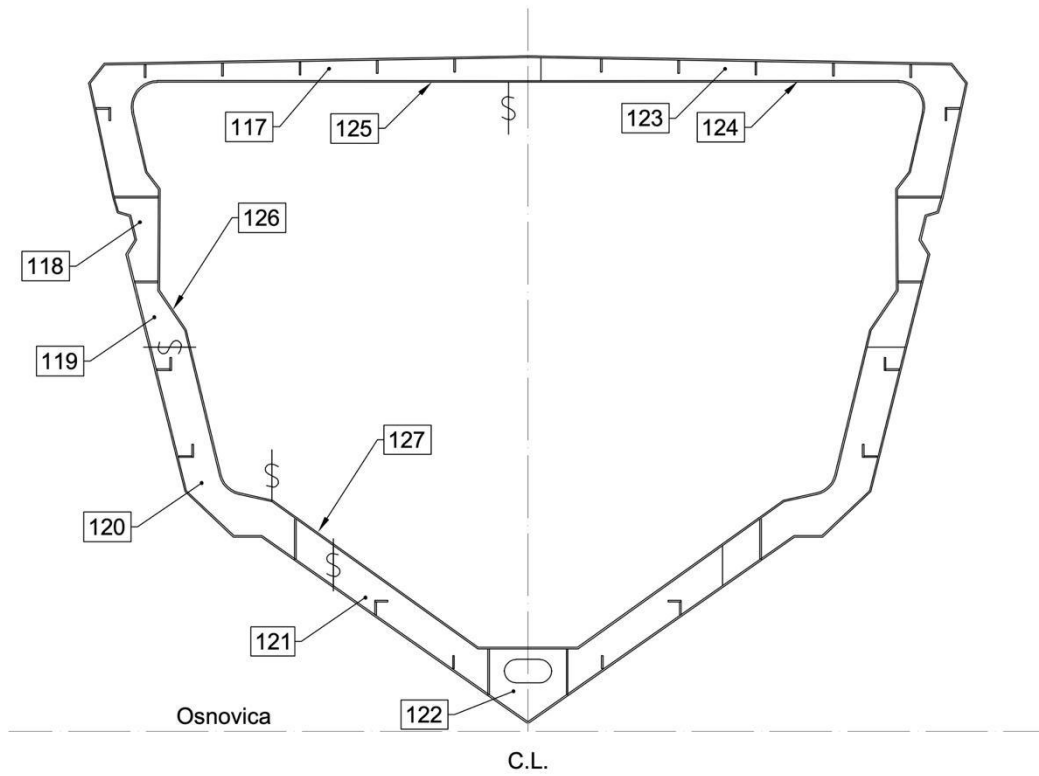
Bruto površina i masa se računaju da se dobije preliminarna narudžbena specifikacija materijala tako da se može što ranije pokrenuti proces nabave materijala za gradnju aluminijskog trupa plovila.



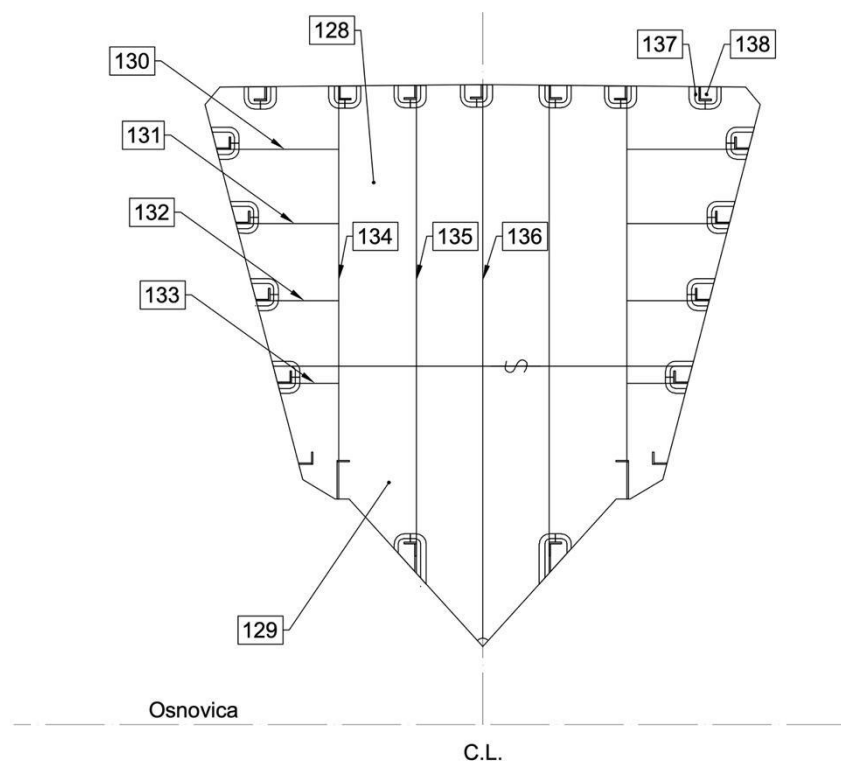
Slika 2.1.1. Tipično krmeno rebro



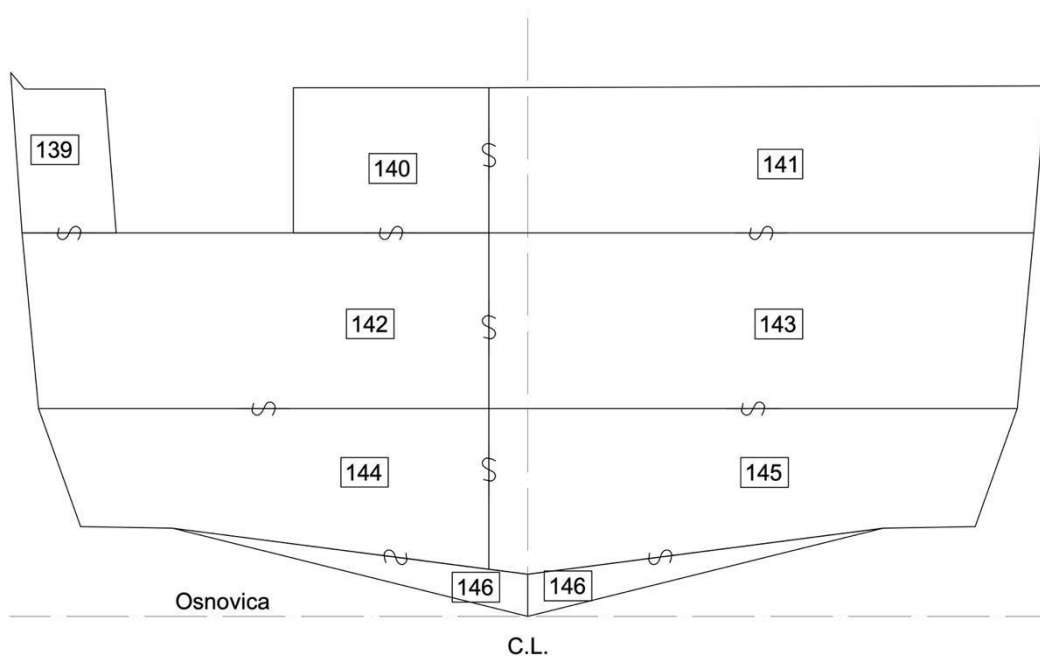
Slika 2.1.2. Tipična krmena pregrada



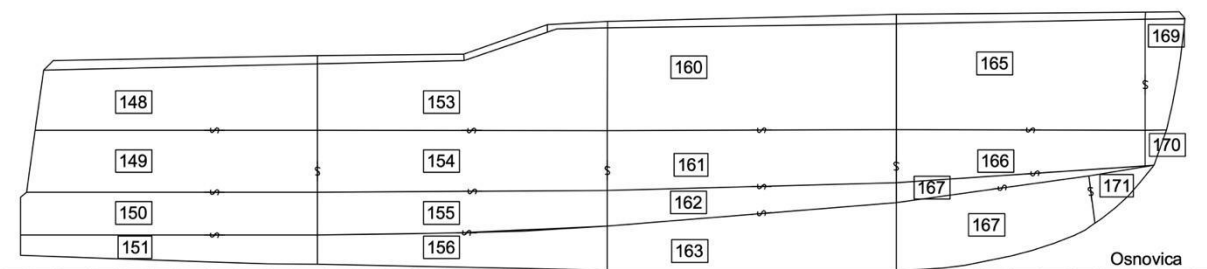
Slika 2.1.3. Tipično pramčano rebro



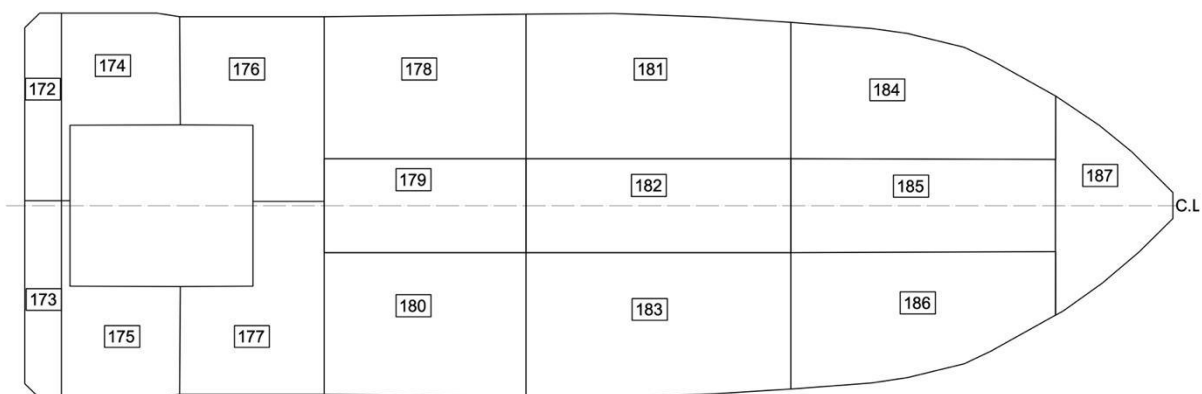
Slika 2.1.4. Pramčana pregrada



*Slika 2.1.5. Zrcalo*



*Slika 2.1.6. Vanjska oplata. – desna strana prikazana, lijeva simetrična*



*Slika 2.1.7. Glavna paluba*

Tablica 2.1.1. Specifikacija materijala za limove i profile po pozicijskim brojevima

Specifikacija materijala za limove i profile											
Poz. Broj	Tip	Dužina	Širina	Površina	Neto površina	Debljina	Kom.	Materijal	Masa	Neto masa	Opaska
		(mm)	(mm)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(mm)			(kg)	(kg)	
1	Lim	676	382	0,258	0,223	4	10	5083/H116	28,41	24,53	
2	Traka	680	40	0,027	0,027	4	10	5083/H116	2,99	2,97	
3	Lim	294	50	0,015	0,015	4	10	5083/H116	1,62	1,60	
4	Lim	324	70	0,023	0,019	4	10	5083/H116	2,49	2,09	
5	Lim	1227	1129	1,385	0,301	4	10	5083/H116	152,38	33,11	
6	Traka	810	40	0,032	0,032	4	10	5083/H116	3,56	3,56	
7	Traka	250	40	0,010	0,010	4	10	5083/H116	1,10	1,10	
8	Traka	240	40	0,010	0,010	4	10	5083/H116	1,06	1,06	
9	Traka	530	40	0,021	0,021	4	10	5083/H116	2,33	2,33	
10	Traka	615	40	0,025	0,025	4	10	5083/H116	2,71	2,71	
11	Traka	750	40	0,030	0,030	4	10	5083/H116	3,30	3,30	
12	Lim	571	345	0,197	0,083	4	10	5083/H116	21,67	9,13	
13	Lim	430	378	0,163	0,099	4	5	5083/H116	8,94	5,45	
14	Traka	325	40	0,013	0,013	4	5	5083/H116	0,72	0,72	
15	Lim	678	415	0,281	0,134	4	5	5083/H116	15,48	7,37	
16	Lim	506	300	0,152	0,147	4	2	5083/H116	3,34	3,23	
17	Traka	700	40	0,028	0,028	4	2	5083/H116	0,62	0,62	
18	Lim	695	408	0,284	0,165	4	2	5083/H116	6,24	3,63	
19	Traka	380	40	0,015	0,015	4	2	5083/H116	0,33	0,33	
20	Lim	92	65	0,006	0,006	4	2	5083/H116	0,13	0,13	
21	Lim	90	65	0,006	0,006	4	2	5083/H116	0,13	0,13	
22	Lim	98	65	0,006	0,006	4	2	5083/H116	0,14	0,14	
23	Lim	92	65	0,006	0,006	4	2	5083/H116	0,13	0,13	
24	Traka	350	40	0,014	0,014	4	2	5083/H116	0,31	0,31	
25	Traka	990	40	0,040	0,040	4	2	5083/H116	0,87	0,87	
26	Traka	998	40	0,040	0,040	4	2	5083/H116	0,88	0,88	
27	Traka	1120	40	0,045	0,045	4	2	5083/H116	0,99	0,99	
28	Traka	1180	40	0,047	0,047	4	2	5083/H116	1,04	1,04	
29	Traka	1240	40	0,050	0,050	4	2	5083/H116	1,09	1,09	
30	Traka	1280	40	0,051	0,051	4	1	5083/H116	0,56	0,56	
31	Lim	945	1197	1,131	0,949	4	1	5083/H116	12,44	10,44	
32	Lim	2955	1390	4,107	3,513	4	1	5083/H116	45,18	38,64	
33	Lim	90	65	0,006	0,006	4	2	5083/H116	0,13	0,13	
34	Lim	97	65	0,006	0,006	4	2	5083/H116	0,14	0,14	
35	Lim	90	65	0,006	0,006	4	2	5083/H116	0,13	0,13	
36	Lim	108	65	0,007	0,007	4	2	5083/H116	0,15	0,15	
37	Lim	90	65	0,006	0,006	4	11	5083/H116	0,71	0,71	
38	Lim	90	65	0,006	0,006	4	11	5083/H116	0,71	0,71	
39	Lim	1096	50	0,055	0,055	4	5	5083/H116	3,01	3,03	
40	Traka	1046	40	0,042	0,042	4	5	5083/H116	2,30	2,30	
41	Traka	415	40	0,017	0,017	4	10	5083/H116	1,83	1,83	
42	Lim	406	400	0,162	0,091	4	10	5083/H116	17,86	10,01	
43	Traka	780	40	0,031	0,031	4	10	5083/H116	3,43	3,43	
44	Lim	877	303	0,266	0,095	4	10	5083/H116	29,23	10,45	
45	Lim	1200	975	1,170	0,288	4	10	5083/H116	128,70	31,68	
46	Traka	960	40	0,038	0,038	4	10	5083/H116	4,22	4,22	
47	Traka	870	40	0,035	0,035	4	10	5083/H116	3,83	3,83	
48	Traka	1072	40	0,043	0,043	4	10	5083/H116	4,72	4,72	
49	Lim	1188	50	0,059	0,059	4	5	5083/H116	3,27	3,25	
50	Lim	532	1938	1,031	0,794	4	5	5083/H116	56,71	43,67	
51	Traka	280	40	0,011	0,011	4	10	5083/H116	1,23	1,23	
52	Traka	345	40	0,014	0,014	4	10	5083/H116	1,52	1,52	
53	Traka	410	40	0,016	0,016	4	10	5083/H116	1,80	1,80	
54	Traka	480	40	0,019	0,019	4	5	5083/H116	1,06	1,06	
55	Traka	1272	40	0,051	0,051	4	5	5083/H116	2,80	2,80	
56	Traka	1246	40	0,050	0,050	4	5	5083/H116	2,74	2,74	
57	Lim	537	1793	0,963	0,719	4	1	5083/H116	10,59	7,91	
58	Traka	1800	40	0,072	0,072	4	1	5083/H116	0,79	0,79	
59	Lim	890	50	0,045	0,045	4	1	5083/H116	0,49	0,50	
60	Traka	890	40	0,036	0,036	4	1	5083/H116	0,39	0,39	

Poz. Broj	Tip	Dužina	Širina	Površina	Neto površina	Debljina (mm)	Kom.	Materijal	Masa	Neto masa	Opaska
		(mm)	(mm)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )				(kg)	(kg)	
61	Traka	580	40	0,023	0,023	4	2	5083/H 116	0,51	0,51	
62	Lim	520	457	0,238	0,119	4	2	5083/H 116	5,23	2,62	
63	Lim	1570	300	0,471	0,172	4	2	5083/H 116	10,36	3,78	
64	Traka	1500	40	0,060	0,060	4	2	5083/H 116	1,32	1,32	
65	Traka	900	40	0,036	0,036	4	2	5083/H 116	0,79	0,79	
66	Lim	885	1180	1,044	0,231	4	2	5083/H 116	22,97	5,08	
67	Traka	395	40	0,016	0,016	4	2	5083/H 116	0,35	0,35	
68	Traka	1145	40	0,046	0,046	4	2	5083/H 116	1,01	1,01	
69	Lim	2096	300	0,629	0,394	4	1	5083/H 116	6,92	4,33	
70	Lim	600	240	0,144	0,111	4	1	5083/H 116	1,58	1,22	
71	Traka	600	40	0,024	0,024	4	1	5083/H 116	0,26	0,26	
72	Lim	676	382	0,258	0,223	4	10	5083/H 116	28,41	24,53	
73	Traka	680	40	0,027	0,027	4	10	5083/H 116	2,99	2,97	
74	Lim	294	50	0,015	0,015	4	10	5083/H 116	1,62	1,60	
75	Lim	324	70	0,023	0,019	4	10	5083/H 116	2,49	2,09	
76	Lim	1227	1129	1,385	0,301	4	10	5083/H 116	152,38	33,11	
77	Traka	810	40	0,032	0,032	4	10	5083/H 116	3,56	3,56	
78	Traka	250	40	0,010	0,010	4	10	5083/H 116	1,10	1,10	
79	Traka	240	40	0,010	0,010	4	10	5083/H 116	1,06	1,06	
80	Traka	530	40	0,021	0,021	4	10	5083/H 116	2,33	2,33	
81	Traka	615	40	0,025	0,025	4	10	5083/H 116	2,71	2,71	
82	Traka	750	40	0,030	0,030	4	10	5083/H 116	3,30	3,30	
83	Lim	571	345	0,197	0,083	4	10	5083/H 116	21,67	9,13	
84	Lim	430	378	0,163	0,099	4	5	5083/H 116	8,94	5,45	
85	Traka	325	40	0,013	0,013	4	5	5083/H 116	0,72	0,72	
86	Lim	678	415	0,281	0,134	4	5	5083/H 116	15,48	7,37	
87	Lim	506	300	0,152	0,147	4	2	5083/H 116	3,34	3,23	
88	Traka	700	40	0,028	0,028	4	2	5083/H 116	0,62	0,62	
89	Lim	695	408	0,284	0,165	4	2	5083/H 116	6,24	3,63	
90	Traka	380	40	0,015	0,015	4	2	5083/H 116	0,33	0,33	
91	Lim	92	65	0,006	0,006	4	2	5083/H 116	0,13	0,13	
92	Lim	90	65	0,006	0,006	4	2	5083/H 116	0,13	0,13	
93	Lim	98	65	0,006	0,006	4	2	5083/H 116	0,14	0,14	
94	Lim	92	65	0,006	0,006	4	2	5083/H 116	0,13	0,13	
95	Traka	350	40	0,014	0,014	4	2	5083/H 116	0,31	0,31	
96	Traka	990	40	0,040	0,040	4	2	5083/H 116	0,87	0,87	
97	Traka	998	40	0,040	0,040	4	2	5083/H 116	0,88	0,88	
98	Traka	1120	40	0,045	0,045	4	2	5083/H 116	0,99	0,99	
99	Traka	1180	40	0,047	0,047	4	2	5083/H 116	1,04	1,04	
100	Traka	1240	40	0,050	0,050	4	2	5083/H 116	1,09	1,09	
101	Traka	1280	40	0,051	0,051	4	1	5083/H 116	0,56	0,56	
102	Lim	945	1197	1,131	0,949	4	1	5083/H 116	12,44	10,44	
103	Lim	2955	1390	4,107	3,513	4	1	5083/H 116	45,18	38,64	
104	Lim	90	65	0,006	0,006	4	2	5083/H 116	0,13	0,13	
105	Lim	97	65	0,006	0,006	4	2	5083/H 116	0,14	0,14	
106	Lim	90	65	0,006	0,006	4	2	5083/H 116	0,13	0,13	
107	Lim	108	65	0,007	0,007	4	2	5083/H 116	0,15	0,15	
108	Lim	90	65	0,006	0,006	4	11	5083/H 116	0,71	0,71	
109	Lim	90	65	0,006	0,006	4	11	5083/H 116	0,71	0,71	
110	Lim	1096	50	0,055	0,055	4	5	5083/H 116	3,01	3,03	
111	Traka	1046	40	0,042	0,042	4	5	5083/H 116	2,30	2,30	
112	Traka	415	40	0,017	0,017	4	10	5083/H 116	1,83	1,83	
113	Lim	406	400	0,162	0,091	4	10	5083/H 116	17,86	10,01	
114	Traka	780	40	0,031	0,031	4	10	5083/H 116	3,43	3,43	
115	Lim	877	303	0,266	0,095	4	10	5083/H 116	29,23	10,45	
116	Lim	1200	975	1,170	0,288	4	10	5083/H 116	128,70	31,68	
117	Traka	960	40	0,038	0,038	4	10	5083/H 116	4,22	4,22	
118	Traka	870	40	0,035	0,035	4	10	5083/H 116	3,83	3,83	
119	Traka	1072	40	0,043	0,043	4	10	5083/H 116	4,72	4,72	
120	Lim	1188	50	0,059	0,059	4	5	5083/H 116	3,27	3,25	
121	Lim	532	1938	1,031	0,794	4	5	5083/H 116	56,71	43,67	
122	Traka	280	40	0,011	0,011	4	10	5083/H 116	1,23	1,23	
123	Traka	345	40	0,014	0,014	4	10	5083/H 116	1,52	1,52	
124	Traka	410	40	0,016	0,016	4	10	5083/H 116	1,80	1,80	

Poz. Broj	Tip	Dužina	Širina	Površina	Neto površina	Debljina (mm)	Kom.	Materijal	Masa	Neto masa	Opaska
		(mm)	(mm)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )				(kg)	(kg)	
125	Traka	480	40	0,019	0,019	4	5	5083/H116	1,06	1,06	
126	Traka	1272	40	0,051	0,051	4	5	5083/H116	2,80	2,80	
127	Traka	1246	40	0,050	0,050	4	5	5083/H116	2,74	2,74	
128	Lim	537	1793	0,963	0,719	4	1	5083/H116	10,59	7,91	
129	Traka	1800	40	0,072	0,072	4	1	5083/H116	0,79	0,79	
130	Lim	890	50	0,045	0,045	4	1	5083/H116	0,49	0,50	
131	Traka	890	40	0,036	0,036	4	1	5083/H116	0,39	0,39	
132	Traka	580	40	0,023	0,023	4	2	5083/H116	0,51	0,51	
133	Lim	520	457	0,238	0,119	4	2	5083/H116	5,23	2,62	
134	Lim	1570	300	0,471	0,172	4	2	5083/H116	10,36	3,78	
135	Traka	1500	40	0,060	0,060	4	2	5083/H116	1,32	1,32	
136	Traka	900	40	0,036	0,036	4	2	5083/H116	0,79	0,79	
137	Lim	885	1180	1,044	0,231	4	2	5083/H116	22,97	5,08	
138	Traka	395	40	0,016	0,016	4	2	5083/H116	0,35	0,35	
139	Traka	1145	40	0,046	0,046	4	2	5083/H116	1,01	1,01	
140	Lim	2096	300	0,629	0,394	4	1	5083/H116	6,92	4,33	
141	Lim	600	240	0,144	0,111	4	1	5083/H116	1,58	1,22	
142	Traka	600	40	0,024	0,024	4	1	5083/H116	0,26	0,26	
143	Lim	2096	300	0,629	0,394	4	1	5083/H116	6,92	4,33	
144	Lim	600	240	0,144	0,111	4	1	5083/H116	1,58	1,22	
145	Traka	600	40	0,024	0,024	4	1	5083/H116	0,26	0,26	
146	Traka	1145	40	0,046	0,046	4	2	5083/H116	1,01	1,01	
147	Lim	2096	300	0,629	0,394	4	1	5083/H116	6,92	4,33	
148	Lim	2970	700	2,079	2,079	4	1	5083/H116	22,87	22,87	
149	Lim	2970	650	1,931	1,931	4	1	5083/H116	21,24	21,24	
150	Lim	2970	500	1,485	1,485	6	2	5083/H116	49,01	49,01	
151	Lim	2970	1450	4,307	4,307	6	2	5083/H116	142,11	142,11	
152	Lim	2930	100	0,293	0,293	4	2	5083/H116	6,45	6,45	
153	Lim	2930	1050	3,077	3,077	4	2	5083/H116	67,68	67,68	
154	Lim	2930	650	1,905	1,905	4	2	5083/H116	41,90	41,90	
155	Lim	2930	450	1,319	1,319	6	2	5083/H116	43,51	43,51	
156	Lim	2930	1450	4,249	4,249	6	2	5083/H116	140,20	140,20	
157	Lim	2930	100	0,293	0,293	4	2	5083/H116	6,45	6,45	
158	Lim	2930	100	0,293	0,293	4	2	5083/H116	6,45	6,45	
159	Lim	2930	100	0,293	0,293	4	2	5083/H116	6,45	6,45	
160	Lim	2930	1100	3,223	3,223	4	2	5083/H116	70,91	70,91	
161	Lim	2930	600	1,758	1,758	4	2	5083/H116	38,68	38,68	
162	Lim	2930	360	1,055	1,055	6	2	5083/H116	34,81	34,81	
163	Lim	2930	1450	4,249	4,249	6	2	5083/H116	140,20	140,20	
164	Lim	2550	100	0,255	0,255	4	2	5083/H116	5,61	5,61	
165	Lim	2550	1100	2,805	2,805	4	2	5083/H116	61,71	61,71	
166	Lim	2550	550	1,403	1,403	4	2	5083/H116	30,86	30,86	
167	Lim	2550	100	0,255	0,255	6	2	5083/H116	8,42	8,42	
168	Lim	2550	1400	3,570	3,570	6	2	5083/H116	117,81	117,81	
169	Lim	400	400	0,160	0,160	4	2	5083/H116	3,52	3,52	
170	Lim	300	400	0,120	0,120	4	2	5083/H116	2,64	2,64	
171	Lim	700	600	0,420	0,420	6	2	5083/H116	13,86	13,86	
172	Lim	380	2000	0,760	0,760	4	1	5083/H116	8,36	8,36	
173	Lim	380	2000	0,760	0,760	4	1	5083/H116	8,36	8,36	
174	Lim	1250	1950	2,438	2,438	4	1	5083/H116	26,81	26,81	
175	Lim	1250	1950	2,438	2,438	4	1	5083/H116	26,81	26,81	
176	Lim	1500	1950	2,925	2,925	4	1	5083/H116	32,18	32,18	
177	Lim	1500	1950	2,925	2,925	6	1	5083/H116	48,26	48,26	
178	Lim	2100	1500	3,150	3,150	6	1	5083/H116	51,98	51,98	
179	Lim	2100	1000	2,100	2,100	4	1	5083/H116	23,10	23,10	
180	Lim	2100	1500	3,150	3,150	4	1	5083/H116	34,65	34,65	
181	Lim	2800	1500	4,200	4,200	4	1	5083/H116	46,20	46,20	
182	Lim	2800	1000	2,800	2,800	6	1	5083/H116	46,20	46,20	
183	Lim	2800	1500	4,200	4,200	6	1	5083/H116	69,30	69,30	
184	Lim	2800	1500	4,200	4,200	4	1	5083/H116	46,20	46,20	
185	Lim	2800	1000	2,800	2,800	4	1	5083/H116	30,80	30,80	
186	Lim	2800	1500	4,200	4,200	6	1	5083/H116	69,30	69,30	
187	Lim	1250	2300	2,875	2,875	4	1	5083/H116	31,63	31,63	
188	Traka	12000	40	0,480	0,480	4	32	5083/H116	168,96	168,96	
<b>Totalno :</b>									<b>3187,02</b>	<b>2524,70</b>	



## 2.2. Grupiranje konstrukcijskih elemenata po debljinama zbog nabave materijala

Kako bi se izradila narudžbena specifikacija materijala zbog nabave potrebno je grupirati limove po debljini i profile prema veličini iz tablice 2.1.1. iz poglavlja 2.1. Nakon toga se dobije ukupna količina limova i profila te se formira preliminarna lista materijala (tablica 2.2.1.) koja se šalje kao upit prema dobavljaču. Inače se na ukupnu količinu dodaje dodatak od cca 10-15% da se osigura dovoljna materijala za nepredviđene količine i/ili potencijalni škart materijala. Dobavljač šalje ponudu s dimenzijama limova i dužina profila prema navedenoj listi narudžbene specifikacije. Ukoliko dobavljač nema na zalihama točno navedeni proizvod, onda šalje kao alternativu drugi proizvod sličnih karakteristika.

Preliminarna narudžbena specifikacija materijala za gradnju aluminijskog trupa prikazana je tablicom 2.2.1.

Tablica 2.2.1. Preliminarna narudžbena specifikacija

Poz. Broj	Tip	Dužina	Širina	Debljina	Kom.	Materijal	Površina	Masa	Opaska
		(mm)	(mm)	(mm)			(m <sup>2</sup> )	(kg)	
1	Lim	3000	1500	4	39	5083/H116	175.5	1930.5	
2	Lim	3000	1500	6	14	5083/H116	63.0	1039.5	
3	Traka	3000	40	4	244	5083/H116	29.3	322.1	
							<b>Ukupno:</b>	<b>3292.1</b>	

## 2.3. Plan rezanja više konstrukcijskih elemenata iste debljine iz jednog lima

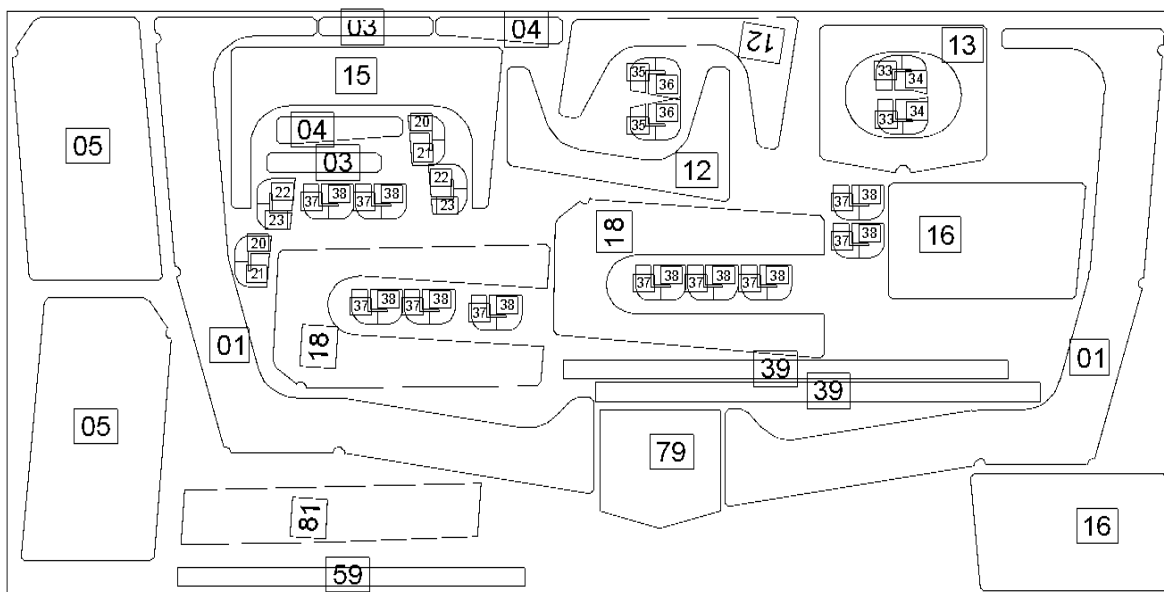
Nakon analize dostavljene ponude dobavljača za limove i profile ide se u detaljnu razradu narudžbene specifikacije koja može ostati ista ili se izmijeniti nakon izrade plana za rezanje. Dobavljač je ponudio konkretne dimenzije limova i profila [8], materijal te broj komada, a to su:

- Lim, 4 x 3000 x 1500 mm, 5083/H116, 39 komada.
- Lim 6 x 3000 x 1500 mm, 5083/H116, 14 komada
- Traka 40 x 10, dužina 3000 mm, 5083/H116, 244 komada.

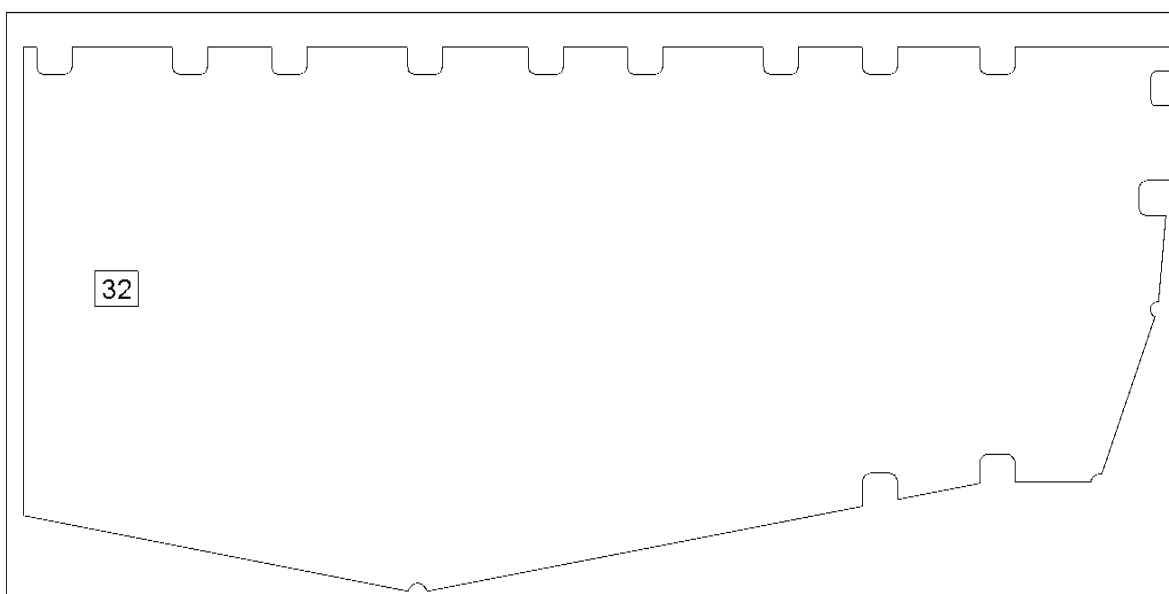
Izrada plana za rezanje, je slaganje više konstrukcijskih elemenata iste debljine na limovima dimenzija od dobavljača. Slažu se elementi tako da se iskoristi što veća površina lima tako da ima što manje otpadnog materijala. Ovisno o stroju za rezanje i njegovih karakteristika se definira minimalni razmak između konstrukcijskih elemenata posloženih na limu. Elementi se slažu da se lim iskoristi u što većem omjeru, a ostatak koji se ne može iskoristiti bude trošak kao otpadni materijal koji se u prosjeku kalkulira okvirna količina cca 5-10%. Svaki element treba biti označen s pozicijskim brojem na planu za rezanje da bi se moglo povezati s skicama za sastavljanje konstrukcijskih elemenata.

Prema ponudi dobavljača se izvodi analiza profila tako da se provjerava vrsta materijala i ukupna količina prema planu za rezanje. Plan rezanja profila se izvodi tako da se za određenu poziciju slažu po dostavljenoj dužini od dobavljača jedan do drugog dok se ne dobije ukupna dužinu profila. Cilj je imati što manje otpadnog materijala, te što manji broj potrebnih profila. Pozicijski brojevi elemenata se označuju na planu rezanja.

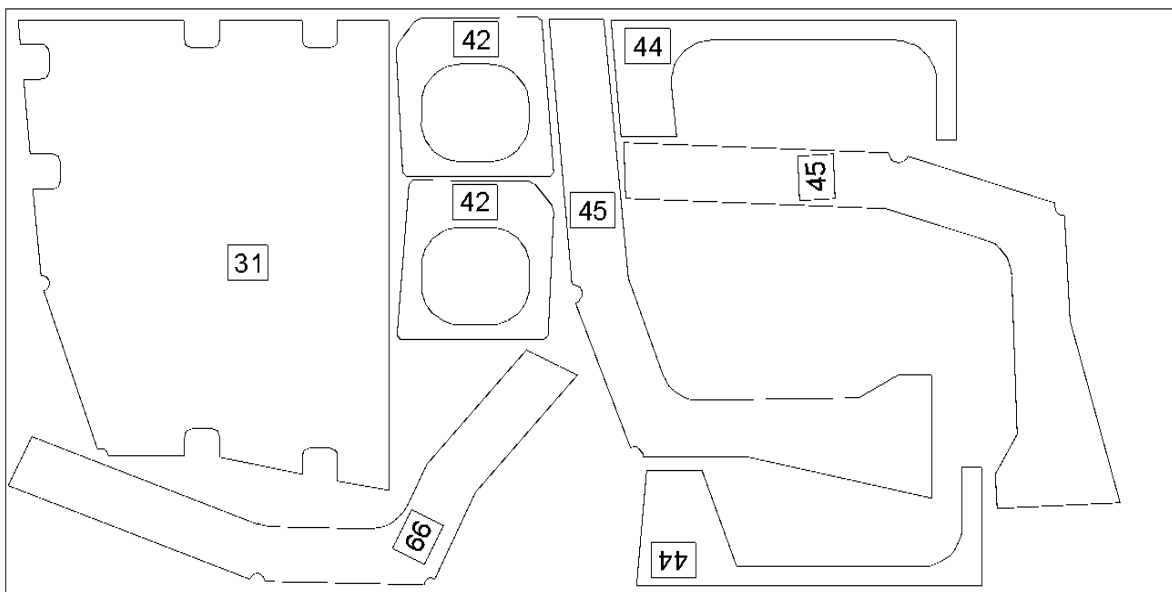
Plan rezanja prikazane su na slikama 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5 i 2.3.6.



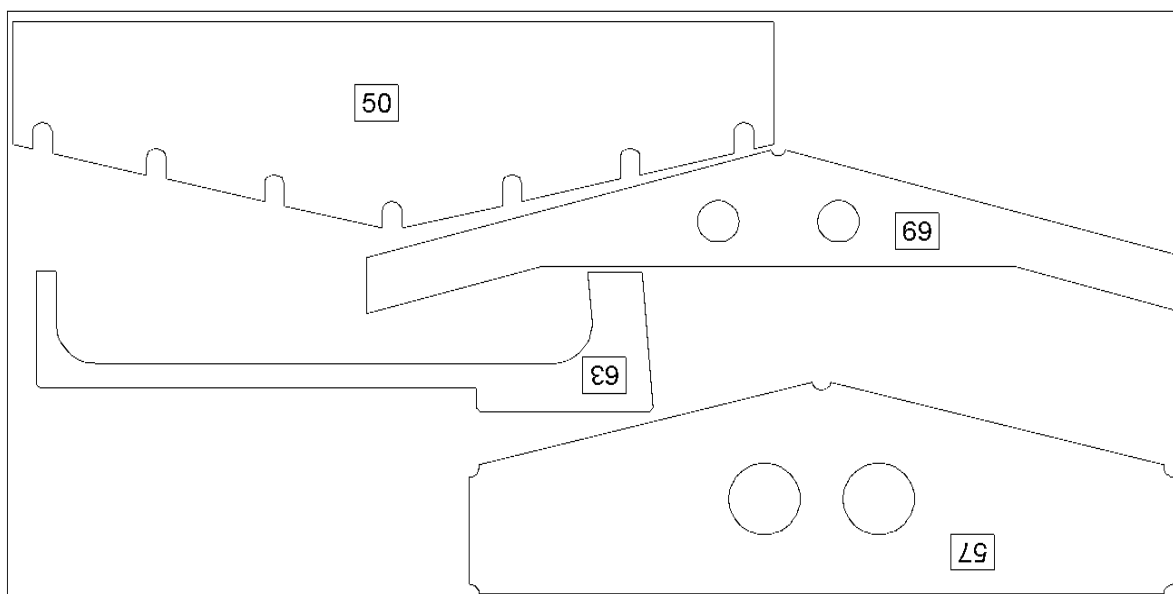
*Slika 2.3.1. Plan rezanja aluminijskog lima debljine 4 mm*



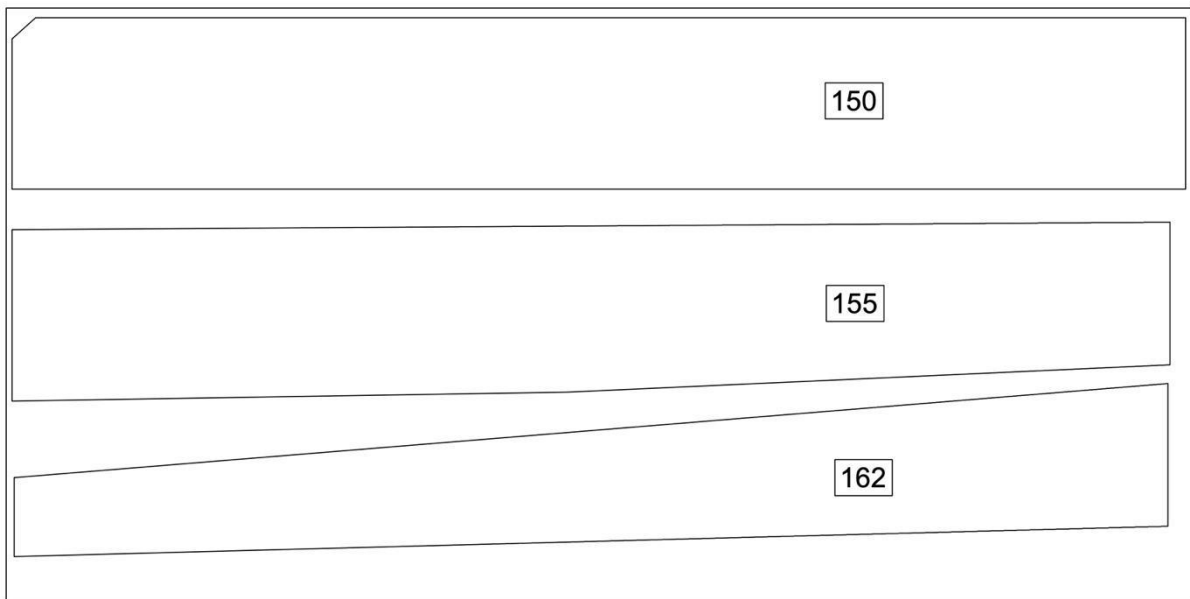
*Slika 2.3.2. Plan rezanja aluminijskog lima debljine 4 mm*



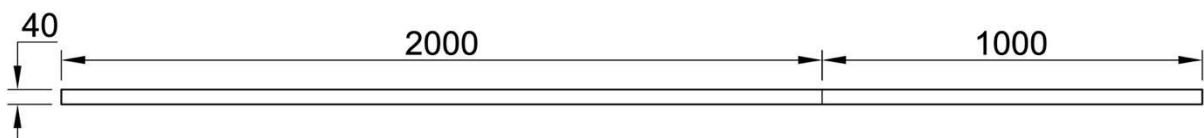
*Slika 2.3.3. Plan rezanja aluminijskog lima debljine 4 mm*



*Slika 2.3.4. Plan rezanja aluminijskog lima debljine 4 mm*



Slika 2.3.5. Plan rezanja aluminijskog lima debljine 6 mm



Slika 2.3.6. Plan rezanja aluminijske trake 40 x 4 mm

## 2.4. Potrebna količina materijala

Nakon analize iz prethodnog poglavlja 2.3 može se zaključiti i naručiti potreban materijal za gradnju aluminijskog trupa. Konačna narudžbena specifikacija (tablica 2.4.1.) se zasniva na izrađenim i provjerenim skicama za rezanje za limove i profila. Kod isporuke aluminijskog materijala potrebno je zatražiti od dobavljača da dostave certifikate za sve materijale odobrene od strane odabranog klasifikacijskog društva.

Tablica 2.4.1. Konačna narudžbena specifikacija materijala

Poz. Broj	Tip	Dužina (mm)	Širina (mm)	Debljina (mm)	Kom.	Materijal	Površina (m <sup>2</sup> )	Masa (kg)	Opaska
1	Lim	3000	1500	4	41	5083/H116	184,5	2029,5	
2	Lim	3000	1500	6	15	5083/H116	67,5	1113,8	
3	Traka	3000	40	4	260	5083/H116	31,2	343,2	
<b>Ukupno:</b>								<b>3486,5</b>	

### 3. IZRADA KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA

Rezanje aluminija se može izvoditi na nekoliko načina. Reže se mehanički, plazmatskim lukom, laserskim snopom i vodenim mlazom.

Mehaničko rezanje se koristi najčešće za trake ili manje dimenzije limova, tj. za jednostavne ravne elemente.

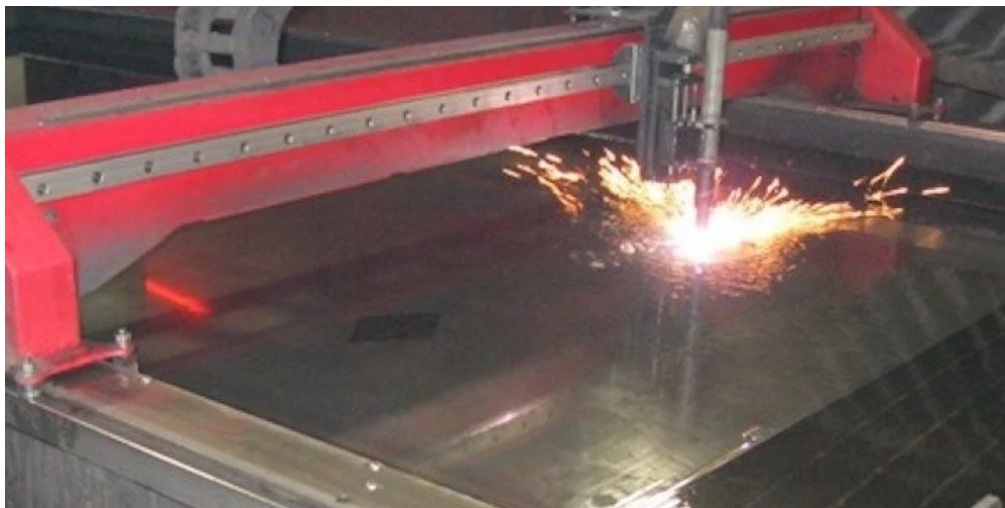
Plazmom se može rezati kvalitetno i velikom brzinom, debljine do 250 mm (slika 3.1.1.). Plazma koristi volframovu elektrodu koja se nalazi u bakrenom cilindru koji je hlađen vodom. Uspostavlja plazmatski luk između elektrode i materijala koji se reže.

Rezanje vodenim mlazom (slika 3.1.2.) je proces rezanja materijala korištenjem vode pod tlakom od 4000 bara s dodatkom pijeska. Gotovo svaki materijal može se rezati tehnikom rezanja vodenim mlazom.

Lasersko rezanje ima veliku primjenu u praksi te se mogu rezati materijali koji apsorbiraju laserski snop, jer se koncentrirana energija snopa pretvara u toplinu zbog čega dolazi do isparavanja, taljenja ili izgaranja materijala. Također u procesu rezanje sudjeluje plin koji je najčešće ugljični dioksid. Prednosti su velike brzine rezanja, visoka kvaliteta reza, mali unos topline.

#### 3.1. Rezanje limova i profila

Rezanje aluminija se izvodi numeričkim upravljivim strojevima te je odabrano da se koristi metodom rezanja vodenim mlazom. Skice za rezanje se pripremaju na računalo posebnim CAD programima koje su kompatibilne za računalo od stroja. Datoteke u CAD formatu 'skica za rezanje' se učitaju u računalo od stroja te se prema njima izvodi operacija rezanje elemenata trupa plovila. Konstrukcijski elementi se režu vodenim mlazom, slika 3.1.1 ili plazmom slika 3.1.2 što se u ovom radu neće koristiti.



*Slika 3.1.1. Rezanje lima plazmom [10].*



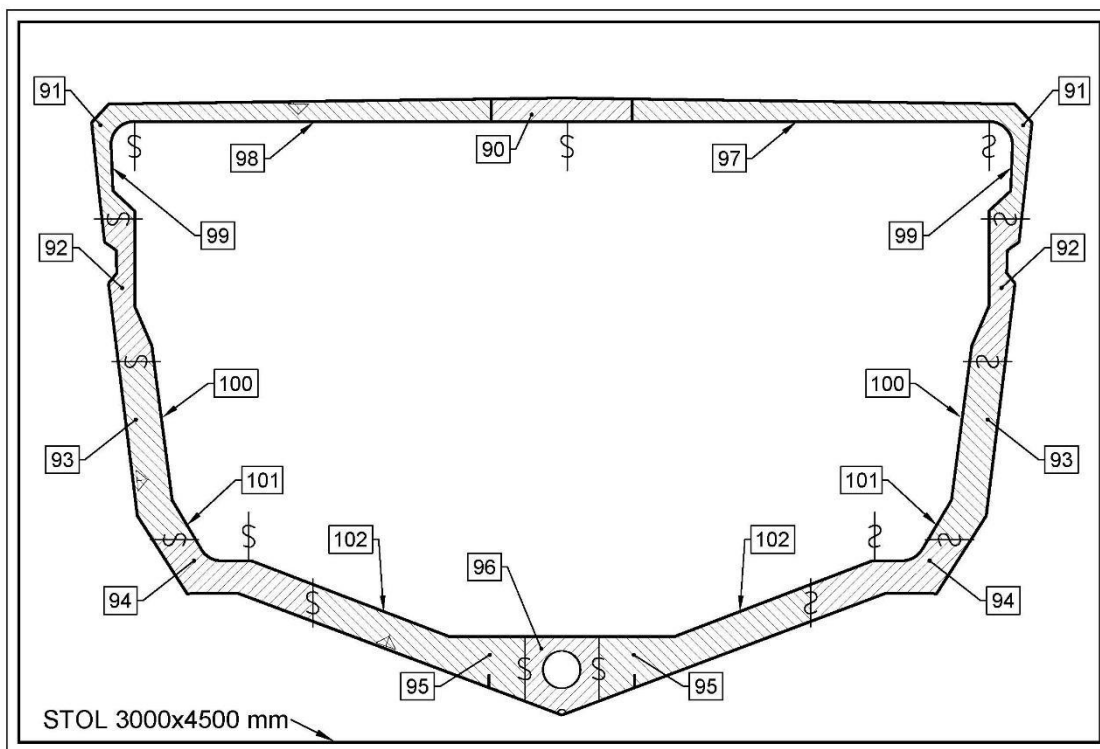
*Slika 3.1.2. Rezanje lima vodenim mlazom [9].*

### **3.2. Predmontaža konstrukcijskih elemenata**

Izrezani i označeni elementi trupa plovila se pripremaju za predmontažu, eventualno brušenje krajeva koje je važno u pripremiti za zavarivanje. U fazi predmontaže konstrukcijski elementi koji se sastoje od više pozicija se montiraju i spajaju zavarivanjem. Pazeći da se mogu montirati u cjelini kod ukрупnjavanja s drugim konstrukcijskim elementima trupa plovila.

#### **3.2.1. Limovi**

Na stolu za zavarivanje dimenzija 3000 x 4500 mm spajaju se elementi prstena rebra koji se sastoje od sklopova palubne sponje, rebra boka te rebra dna koji su svi povezani s unutarnjom pojasnom trakom. Sklopovi se sastavljaju tako da se prvi element sklopa polaže na stol a na njega postavlja pod zadanim kutom drugi komad koji se pridržava te privari zavarom duljine 20-30 mm, u razmaku od najmanje 300 mm. Nakon toga se elementi međusobno zavare prema redosljedu zavarivanja. Nakon zavarivanja sklop se provjerava ako je u dimenzionalnoj toleranciji te ako treba eventualno korekcija može se ravnati do zadovoljavajućeg oblika. To su na primjer sklopovi koljena s pripadnom pojasnom trakom, okvirni nasači, okvirne sponje, proveze, podveze i linica. Za599vareni prsten tipičnog rebra s unutarnjom pojasnom trakom smješten na stolu prikazan je na slici 3.2.1.1.



*Slika 3.2.1.1. Zavaren prsten tipičnog rebra na stolu*

### 3.2.2. Profili

U fazi predmontaže uzdužnjaci dna, boka i palube se sastavljaju u složene profile zavarivanjem. Uzdužnjaci se spajaju iz traka 40x4 mm u L-profil tako da se na stolu položi prvi komad te na njega postavlja pod pravim kutom drugi komad koji se prdržava dok se ne privari zavarom duljine 20-30 mm, u razmaku od minimalno 300 mm. Nakon toga se elementi međusobno zavare prema redosljedu zavarivanja te nakon zavarivanja se provjerava ako je eventualno došlo do deformacija. Prikaz spoja L-profila uzdužnjaka zavarivanjem je na slici 3.2.2.1



*Slika 3.2.2.1. Zavarivanje uzdužnjaka [1].*

## 4. ZAVARIVANJE

### 4.1. Zavarivanje aluminijskih legura

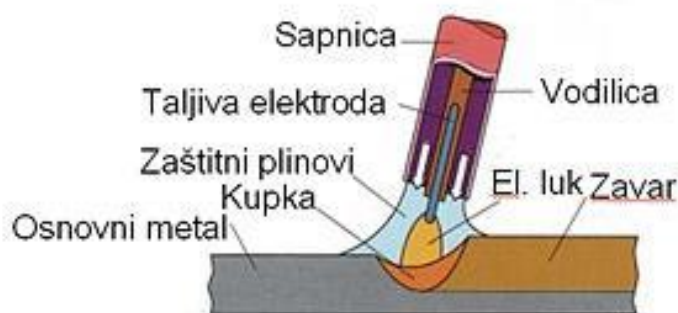
Aluminij ima vrlo dobru zavarljivost, ali postoji problem kod toplinske obrade, a to su tople pukotine. Osnovni problemi kod zavarivanja su:

1. Pukotine u zavaru
2. Oksidacija
3. Poroznost u zavaru

U ovom radu odabran je MIG (engl. Metal Inert Gas) postupak za zavarivanje (slika 4.1.1). To je postupak zavarivanja u zaštitnom inertnome plinu s taljivom elektrodom, a uglavnom se od plinova koristi argon i heliji. Elektroda dolazi u obliku žice namotane u kolut, koja se pomoću mehanizma gura kroz sapnicu pištolja na mjesto taljenja. Električni luk se uspostavlja između taljive elektrode i osnovnog materijala.

Prednosti MIG postupka su velike brzine zavarivanja, primjenjuje se u svim položajima zavarivanja i manjeg unosa topline u osnovni materijal.

Nedostaci MIG postupka su česta zapinjanja žice do gorionika, otežani rad na otvorenim prostorima zbog vjetra koji odnosi zaštitni plin.



Slika 4.1.1. MIG postupak zavarivanja [12].

### 4.2. Postupak gradnje trupa

Prikazat će se tipičan postupak gradnje trupa aluminijskog trupa u metodi u kojoj se najprije montira orebrenje te zatim se na strukturu montira oplata. Ovom metodom se ima potpuna kontrola u oblikovanju forme trupa plovila.

Za vizualizaciju postupka gradnje trupa izrađen je model pomoću programa Rhinoceros [13]. Model je napravljen prema nacrtima strukture.

Softver Rhinoceros ili skraćeno Rhino razvili su Robert McNeel & Associates. Ovaj softver za 3D modeliranje je profesionalni program, omogućuje razvoj stvarno složenih modela i



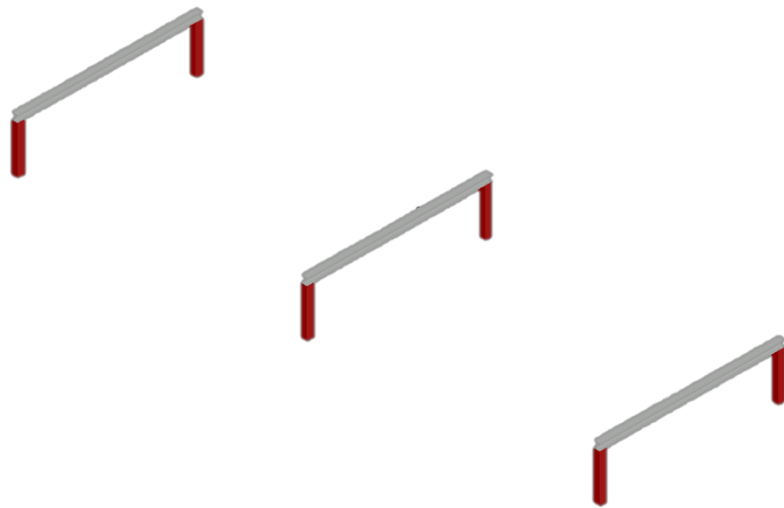
geometrija. Rhinoceros se koristi u raznim granama industrije od industrijskog dizajna do arhitekture. Rhino 3D je plošni modelar slobodnog oblika koji koristi tehniku modeliranja krivuljama (NURBS ili Non-Uniform Rational Basis Spline, engl.). NURBS je matematički model koji prikazuje krivulje i površine u računalnoj grafici. Ovaj matematički model nudi veliku fleksibilnost i preciznost tijekom cijelog procesa 3D modeliranja. Ovom tehnikom se radi s krivuljama pri modeliranju, a ne povezivanjem poligona. Trodimenzionalnu površinu se izrađuje manipulirajući krivuljama. Ova vrsta modeliranja koristi prilagodljivu mrežu, koja omogućuje optimiziranje broja ploha koja tvore površinu objekta. Ova tehnika modeliranja je trenutno najtočnija koja postoji na tržištu.

#### 4.2.1. Izrada kolijevke trupa

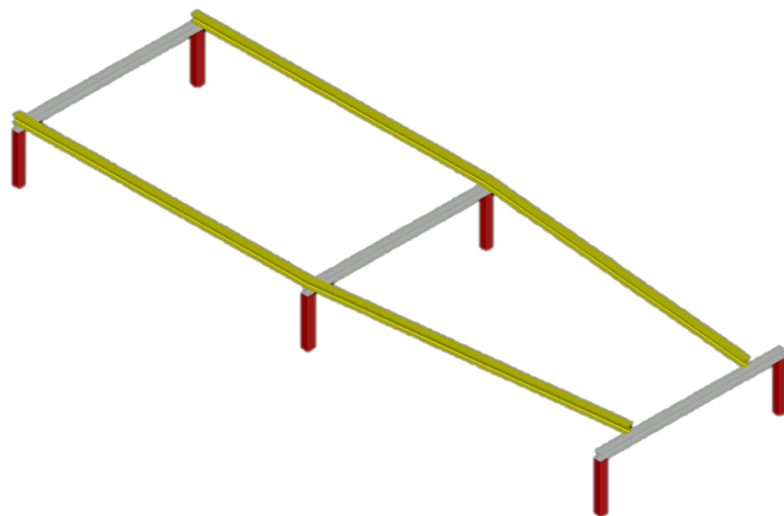
Kod početka gradnje potrebno je izraditi konstrukciju kolijevke trupa koja je od čelika. Služi kao temelj na kojoj će se okrupnjivati struktura aluminijskog plovila. Treba biti čvrsta i stabilna da se smanji mogućnost dimenzionalnih pogrešaka od sastavljanja. Ova kolijevka izrađena je za navedenu brodicu, te se ne može koristiti za druge jer ne odgovaraju dimenzijama i obliku.

Izrada kolijevke se izrađuje u sljedećim fazama:

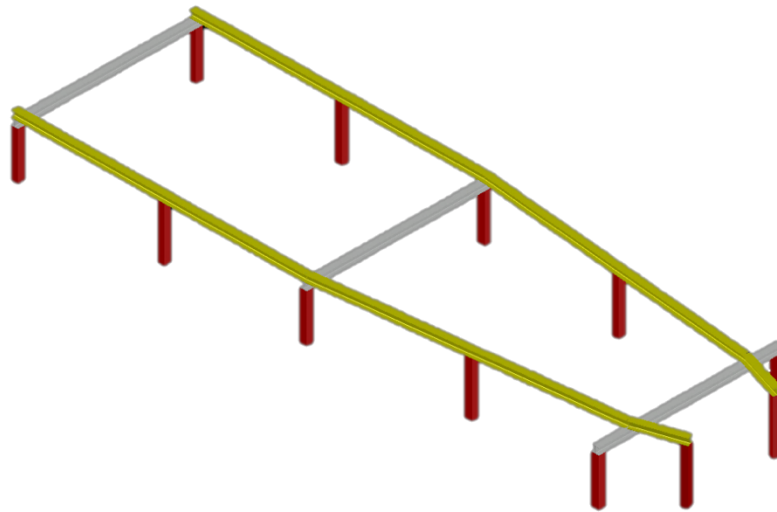
1. Stupove kolijevke čine čelični kvadratni profili postavljeni vertikalno, te ih se povezuje s H-profilima (slika 4.2.1.1). Provjeriti ako je nivelirano prema uputama iz dokumentacije. Stupove kolijevke potrebno je učvrstiti za pod.
2. Sve se povezuje u jednu cjelinu uzdužnim spajanjem sa čeličnim H-profilima (slika 4.2.1.2).
3. S obzirom na duljinu kolijevke i velikog raspona potrebno je dodatno poduprijeti s vertikalnim čeličnim H-profilima (slika 4.2.1.3).
4. Na tako pripremljenu konstrukciju, zavaruju se čelični L-profil čiji razmak odgovara razmaku rebara brodice (slika 4.2.1.4).
5. Na prethodno zavarene čelične L-profile montiraju se vijčanim spojem aluminijski limovi koji prate oblik glavne palube (slika 4.2.1.5). Jer kako su L-profil od čelika, a gornji limovi koji idu na njih od aluminijski između dvaju različitih materijala se umetne brtva od gume te se spaja vijkom i maticom.



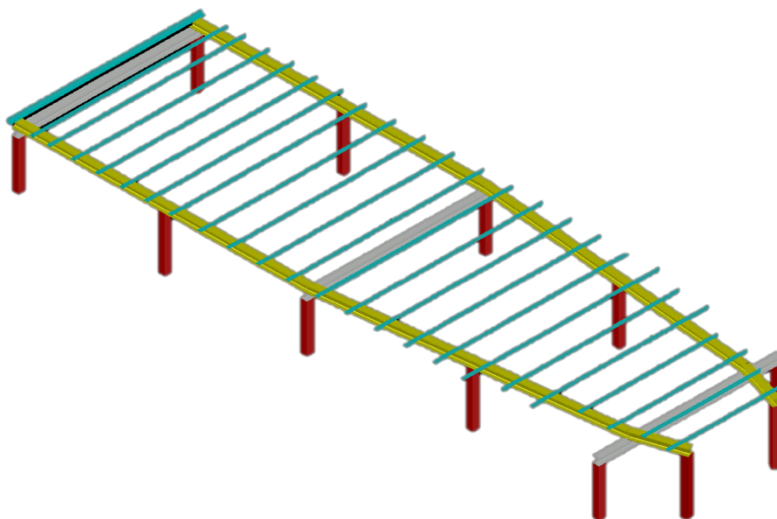
*Slika 4.2.1.1 Stupovi koljevke.*



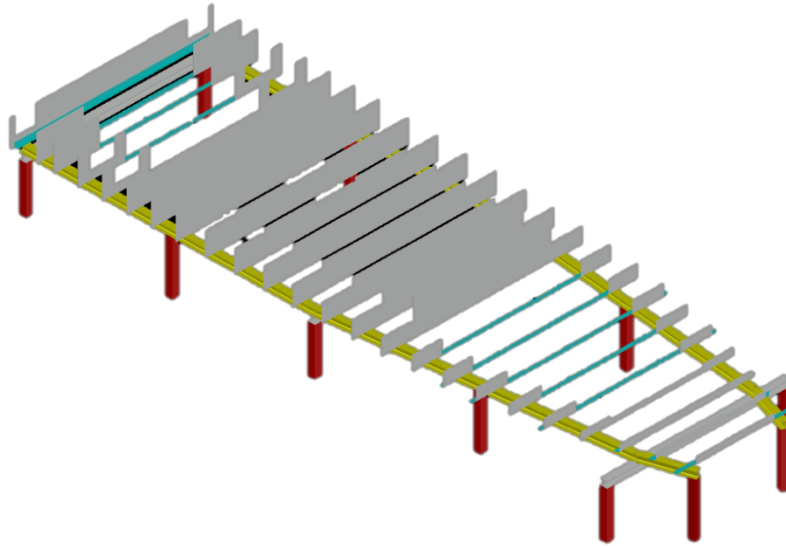
*Slika 4.2.1.2 Povezivanje stupova koljevke*



*Slika 4.2.1.3 Dodatni vertikalni profili*



*Slika 4.2.1.4 Montiranje L-profila*



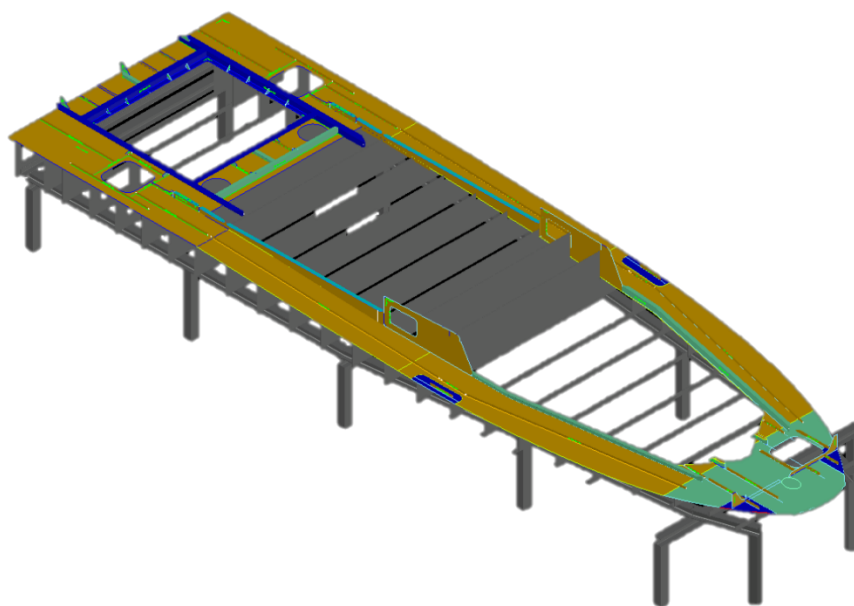
*Slika 4.2.1.5 Montiranje aluminijskih limova*

#### 4.2.2. Glavna paluba

Glavna paluba (slika 4.2.2.1) koja je sastavljena na predmontaži pozicionira se na prethodno spomenute aluminijske limove (slika 4.2.1.5), te se za njih točkasto zavari.

Kako bi se paluba što točnije pozicionirala potrebno je poštovati tolerancije pri izradi kolijevke.

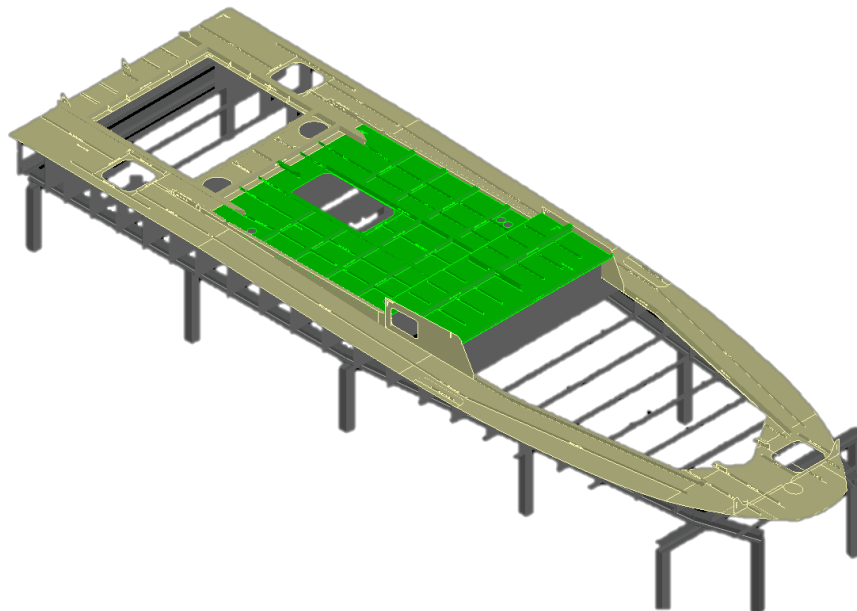
Uspon glavne palube uvjetuje ukupnu visinu kolijevke.



#### *Slika 4.2.2.1 Montaža glavne palube*

#### 4.2.3. Paluba kormilarnice

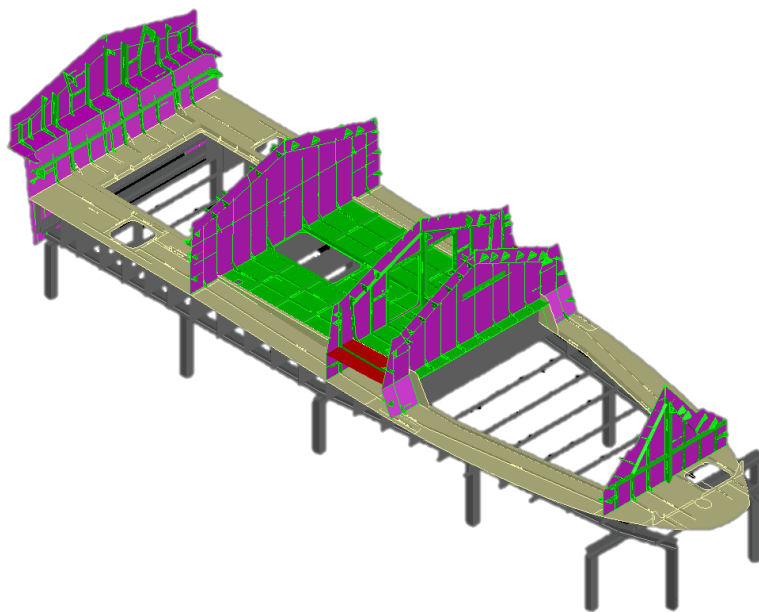
Nakon postavljanja glavne palube, na kolijevku se zatim postavlja paluba kormilarnice (slika 4.2.3.1) te se točkasto zavaruje za kolijevku, i nakon toga se zavaruje za glavnu palubu.



*Slika 4.2.3.1 Montaža palube kormilarnice*

#### 4.2.4. Vodonepropusne pregrade

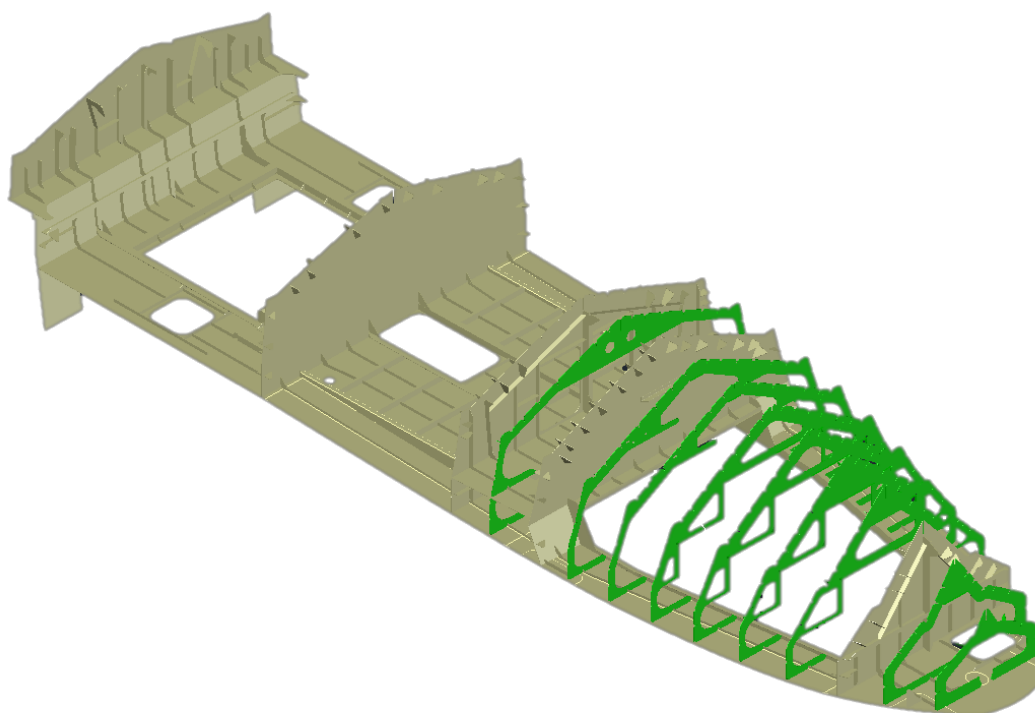
Slijedeća faza izgradnje je postavljanje predmontiranih vodonepropusnih pregrada. U ovoj fazi montiraju se dijelovi palube između vodonepropusnih pregrada rebra 13 i rebra 15.



*Slika 4.2.4.1 Montaža vodonepropusnih pregrada*

#### 4.2.5. Rebra u području pramca

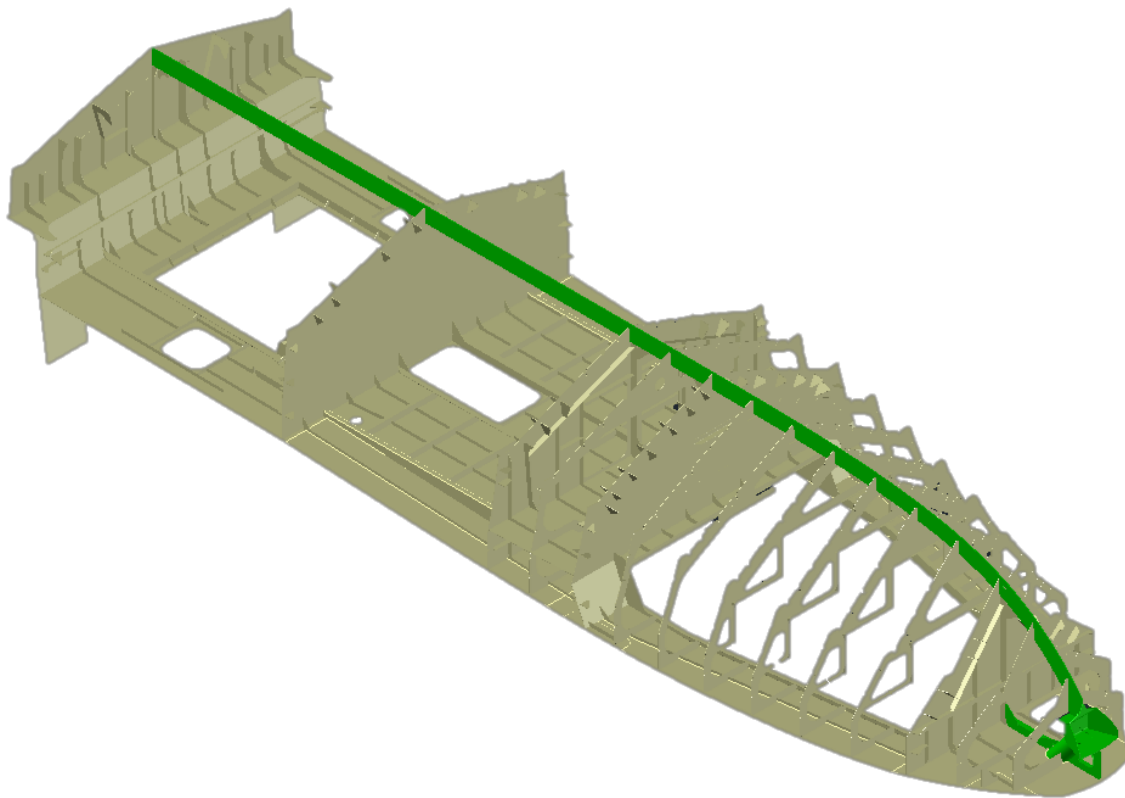
Nakon montiranja vodonepropusnih pregrada (Slika 4.2.4.1), montiraju se rebra od pregrade rebra 13 do rebra 24.



*Slika 4.2.5.1 Montaža rebara*

#### 4.2.6. Kobilica i sidrena niša

U ovoj fazi prvo se postavlja sidrena niša te nakon toga postavlja se kobilica (Slika 4.2.6.1). Prethodno montirana rebra (Slika 4.2.5.1), i vodonepropusne pregrade (Slika 4.2.4.1) povezuju se kobilicom. Posebno treba voditi računa kod povezivanja svih rebra i kobilice da budu prema zadanoj dimenzionalnoj toleranciji, jer uslijed njihovih minimalna odstupanja dovelo bi do geometrijske greške oblika forme te vanjska oplata ne bi sjela kako treba na konstrukciju rebra. Nakon montaže kobilice izvodi se dimenzionalna kontrola na svakom rebru. Ukoliko eventualno ima odstupanja mora se rebro porezati od kobilice te popraviti prema zadanim dimenzijama i tolerancijama koje su definirana u nacrtima strukture aluminijskog plovila.

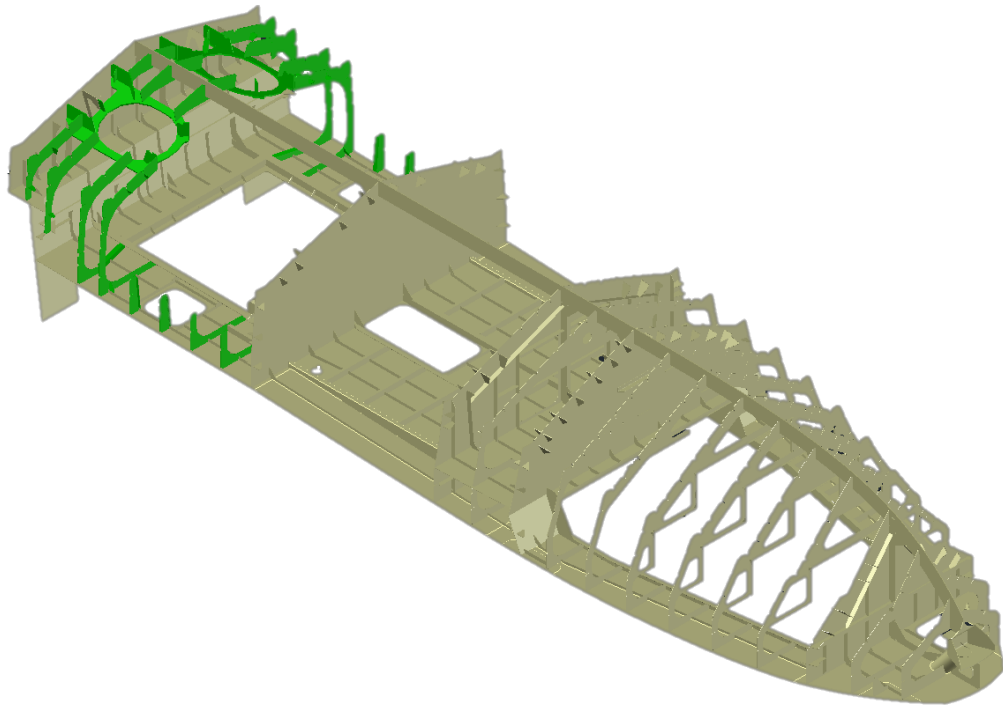


*Slika*

#### *4.2.6.1 Montaža kobilice i sidrene niše*

#### 4.2.7. Dijelovi rebara sa temeljem propulzora

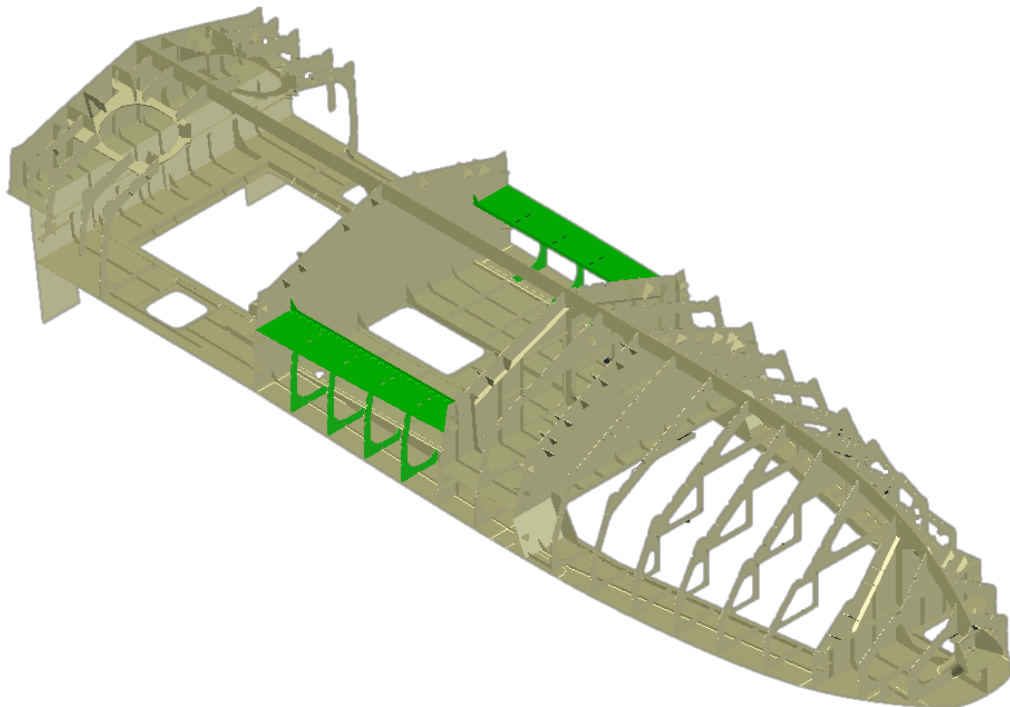
U ovoj fazi montiraju se dijelovi krmnih rebara sa temeljem propulzora (Slika 4.2.7.1). U ovoj fazi isto se izvodi dimenzionalna kontrola temelja propulzora.



*Slika 4.2.7.1 Montaža rebara sa temeljem propulzora*

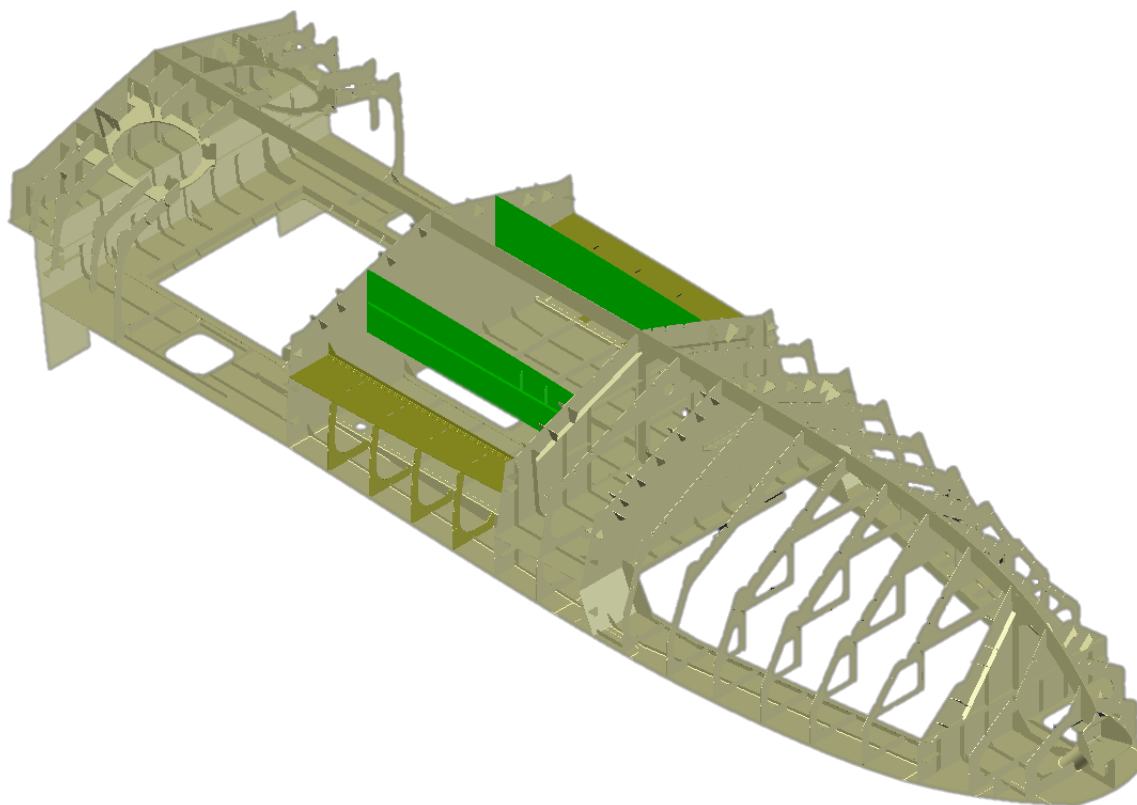
#### 4.2.8. Pokrov tankova goriva

Postavlja se gornja polovica pokrova tankova sa gornjim dijelovima rebara (Slika 4.2.8.1) te nakon toga i bočne stranice iz jednog komada (Slika 4.2.8.2).



*Slika 4.2.8.1 Montaža gornje polovice pokrova tankova sa rebrima*

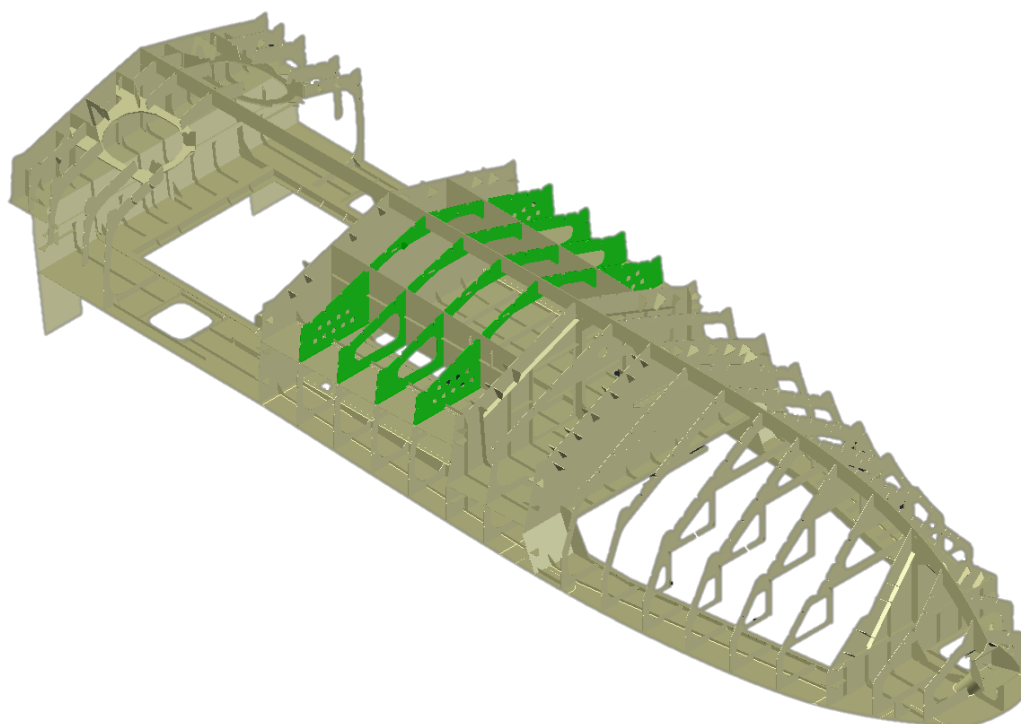




*Slika 4.2.8.2 Montaža bočne stranice tanka*

#### 4.2.9. Rebra u području tankova goriva

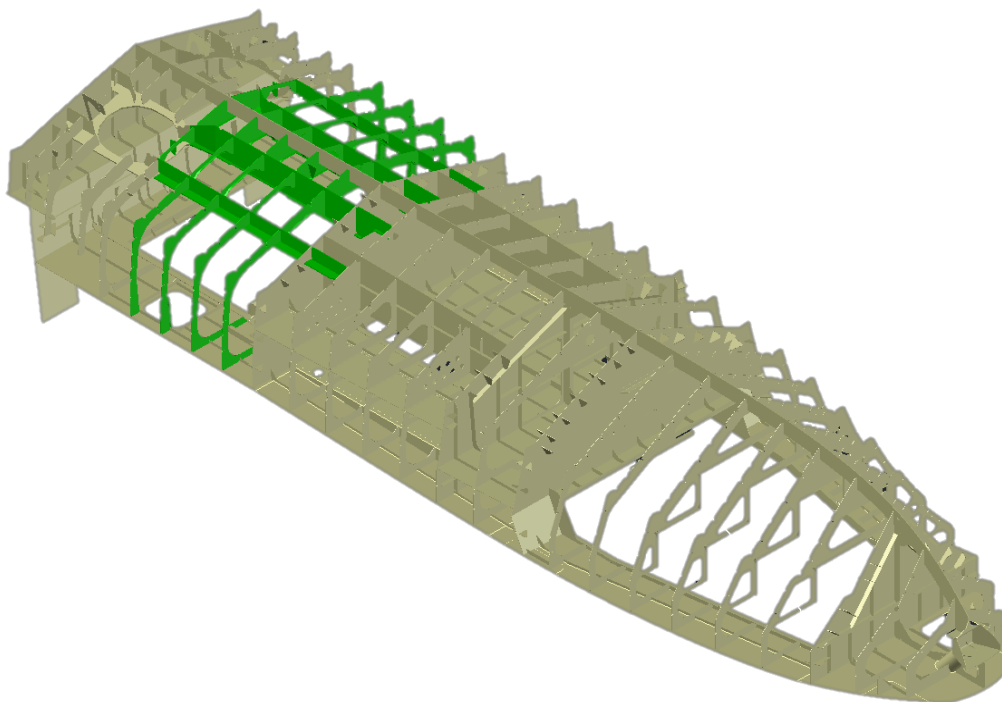
Prethodno montirani limovi tankova (Slika 4.2.8.1 i 4.2.8.2), ukrepljuju se preostalim rebrima (Slika 4.2.9.1). U ovoj fazi isto se izvodi dimenzionalna kontrola montiranih rebra.



*Slika 4.2.9.1 Montaža rebara.*

#### 4.2.10. Nosači motora

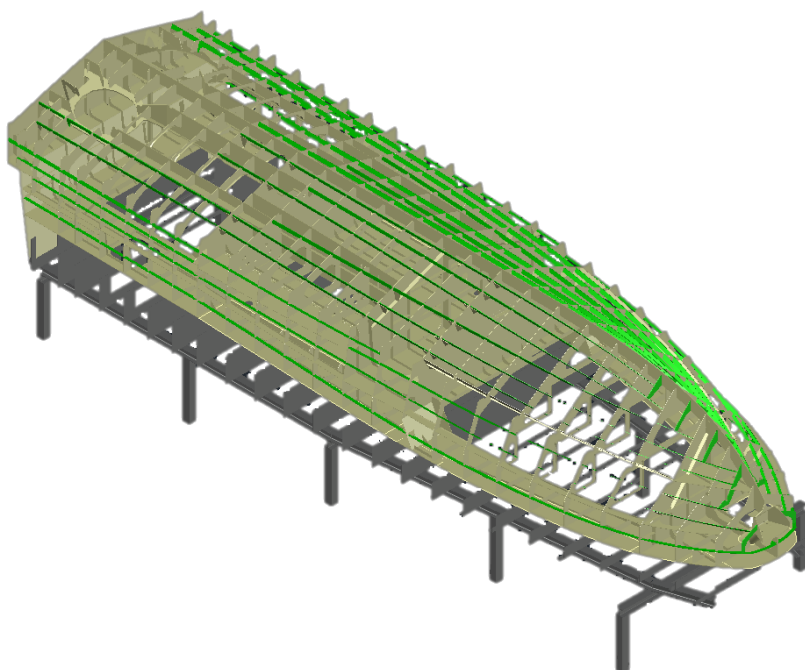
Postavljaju se nosači motora sa pripadajućim rebrima (Slika 4.2.10.1). U ovoj fazi isto se izvodi dimenzionalna kontrola montiranih rebra i nosača motora.



*Slika 4.2.10.1 Montaža nosača motora sa rebrima*

#### 4.2.11. Uzdužnjaci

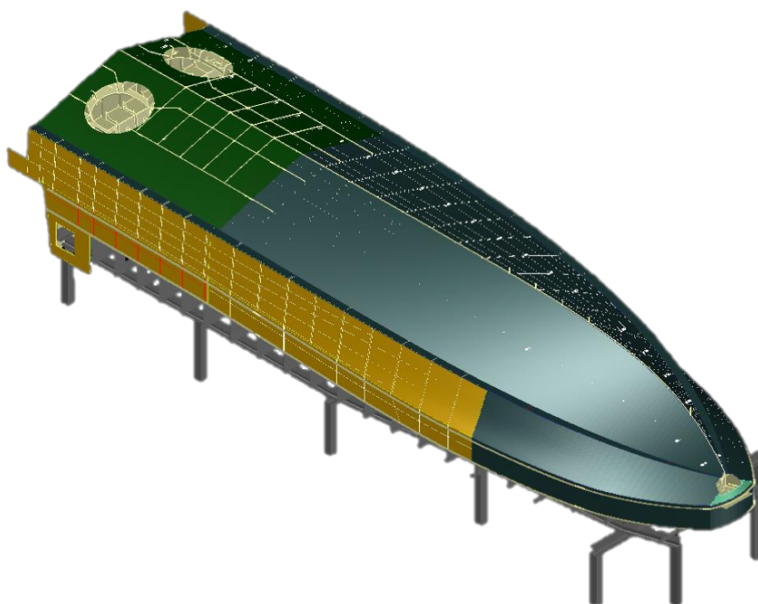
Postavljanje uzdužnjaka koji su sastavljeni na predmontaži na rebra trupa (Slika 4.2.11.1). U ovoj fazi isto se izvodi dimenzionalna kontrola montiranih uzdužnjaka te ako ima eventualnih grešaka potrebno je popraviti jer nakon ove faze ide postavljanje vanjske oplata.



### *Slika 4.2.11.1 Montaža uzdužnjaka.*

#### 4.2.12. Vanjska oplata

Postavljanje vanjske oplata (Slika 4.2.12.1). U ovoj fazi važno je voditi računa o redoslijedu zavarivanja limova vanjske oplata koje je detaljnije opisana u poglavlju 4.4.



*Slika 4.2.12.1 Postavljanje vanjske oplata*

### **4.3. Plan zavarivanja**

Prije sastavljanja elemenata trupa aluminijskog plovila potrebno je pripremiti i isplanirati postupke i parametre za zavarivanje kako bi dobili što kvalitetniji završni proizvod. Kod materijala poput aluminija je vrlo važno imati znanja i iskustva o postupcima za zavarivanje i najvažnije o unosu topline u osnovni materijal. Kako bi se planiralo zavarivanje kvalitetno za određeni materijal i debljinu lima potrebno je definirati slijedećim dokumentima:

- Radna uputa za zavarivanje,
- Zapis o kvalifikaciji postupka zavarivanja
- Atest za zavarivača

#### 4.3.1. Radna uputa za zavarivanje

Radna uputa za zavarivanje (WPS, engl. Welding procedure specification) je dokument kojim zavarivač ima sve potrebne informacije da izvede postupak zavarivanja zadanih parametara za određeni materijal i debljine prema standardima koji su prihvaćeni od strane regulatorne institucije. Radna uputa se prije primjene provjerava i odobrava od strane klasifikacijskog društva. Dokument ima sadržaj parametara za izvedbu zavarivanja kao što su: vrsta spoja,

kvaliteta osnovnog materijala, parametri opreme za zavarivanje, vrsta dodatnog materijala, temperatura predgrijavanja, temperatura dogrijavanja i ostalo ako je potrebno definirati. Primjer radne upute za zavarivanje prikazano je na slici 4.3.1.1.

#### 4.3.2. Zapis o kvalifikaciji postupka zavarivanja

Zapis o kvalifikaciji postupka zavarivanja (PQR, engl. Procedure qualification records) je dokument koji definira niz parametra zavarivanja za vezanu radnu uputu za zavarivanje. To su dokumenti o kemijskom sastavu osnovnog i dodatnog materijala, mehanička svojstva materijala, zaštitnom plinu te metode ispitivanja zavarenog spoja. Postoje metode ispitivanja bez razaranja i metode s razaranjem.

#### 4.3.3. Atest zavarivača

Atest zavarivača (WPQ, engl. Welder performance qualifications) je dokaz i dokument kojim zavarivač potvrđuje sposobnost izvođenja određenog zavora kojim je definiran radnom uputom za zavarivanje. Zavarivač dokazuje izvedbom na testnom uzorku koji je pod nadzorom ovlaštenog inspektora koji provjerava i odobrava ako ispunjava sve uvijete prema zadanim standardima. Atest zavarivača se provjerava i ponavlja svakih tri godine da se potvrdi ako zadovoljava standarde.

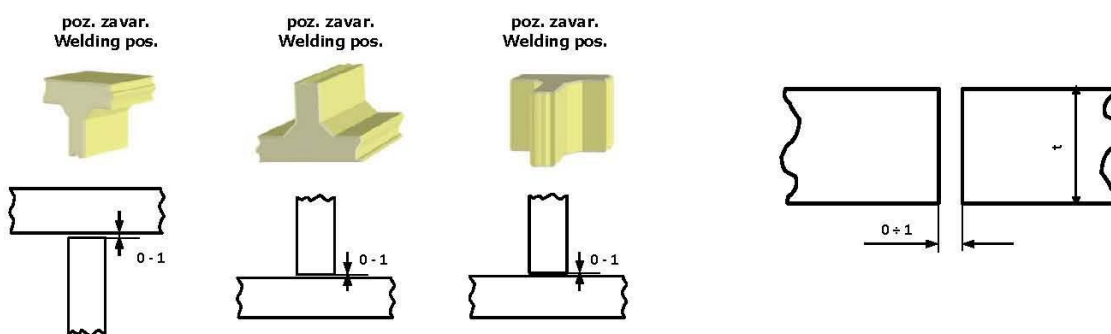
WPS: I-Joint / Fillet weld / All positions

Br/N<sup>o</sup>: V01

## Radna uputa za zavarivanje Welding Procedure Specification (WPS)

<b>Lokacija/location:</b>	<b>Radiona</b>	<b>Nadzor/Supervision :</b>	<b>Radiona</b>
<b>Proizvođačeva oznaka /WPS:</b>	<b>V01</b>	<b>Priprema i čišćenje/preparation and cleaning:</b>	<b>čistano, brušeno</b>
<b>Atest postupka/ PQR :</b>	<b>N/A</b>	<b>Specifikacija materijala:</b>	<b>AW 5083 - H116</b>
<b>Proizvođač/Producer:</b>	<b>Radiona</b>	<b>Material Specification:</b>	<b>09/2022</b>
<b>Ime i prezime zavarivača/Welder's name:</b>	<b>N/A</b>	<b>Grupa/Group &amp; Tip/Type:</b>	<b>t = 3 ÷ 6</b>
<b>Postupak zavarivanja / Welding Process:</b>	<b>131-P (MIG)</b>	<b>Debljina materijala/Thickness, (mm) :</b>	<b>Sve pozicije / All position</b>
<b>Vrsta spoja/Type of joint:</b>	<b>Kutni spoj / I-spoj</b>	<b>Vanjski diameter/Outside dia. (mm) :</b>	
		<b>Položaj zavarivanja/Welding Position:</b>	

### Detalj pripreme/Joint Detail



### Parametri zavarivanja/Welding Parameters

Poz./Prolaz Position/Pass Br./No.	Oznaka Postupka Proc.ID	Deb.Dod.Mat. Filler.Mat.Thk. Dia.mm	Struja zav. Current A	Napon zav. Voltage V	Ttip struje Current type AC/DC, +, -	Brzina žice Wire Speed m/min	Unos topline Heat input KJ/mm
1 + n	131-P	1.2	150 + 170	25 + 26	DC: +	9 + 10	0,33 + 0,42

### Klasifikacija i trgovački naziv dodatnog materijala:

Filler Metal classification and Trade name:

SFA/AWS A5.10 ER5183 (AIMG4,5Mn0,7)

<b>Sušenje dodatnog materijala / Drying of Filler mat.:</b>		<b>Ostale informacije/Other information*:</b>	
nema/no		Max.Njihanje / Max.Weaving: nema/ no	
<b>Zaštitni plin / Protect.gas:</b>	I3 (75%Ar + 25%He)	Oscilacije:amplituda,frekvencija, zadržavanje: nema/ no	
<b>Protok plina / GasFlow:</b>	16 - 20 lit./min.	Oscilacije:amplitudes,frekv., dwell time :	
<b>Vrsta i dia. wolfram elektrode:</b>	nema/ no	Detalji impulsnog zavarivanja/ Pulse Weld Detail: nema/ no	
<b>Type of Tungsten electrode:</b>	nema/ no	Detalji kod zavarivanja plazmom/ PAW Weld detail: nema/ no	
<b>Detalji žljebljenja/podloge/Gouging Det:</b>	nema/ no	Premaz/ Shopprimer:	
		Ostalo / Other:	
<b>Temperatura predgrijavanja/ Preheating Temp.:</b>	TP = 100 °C		
<b>Međuprolazna temperatura/Interpass temp.:</b>	Min : TP = 100 °C      Max : 150 °C		
<b>Toplinska obrada nakon zavarivanja /(PWHHT):</b>	nema/ no		
<b>Izradio / Made by:</b>	<b>Datum izrade: / Date of issue:</b>	<b>Kontrolirao / Controlled:</b>	<b>Odobrilo klas. Društvo / Approved by cert. Authority:</b>
<b>Johannes Simic Marko Delano</b>	<b>rujan 2022</b>		

Slika 4.3.1.1 Radna uputa za zavarivanje

#### 4.4. Redoslijed zavarivanja

Dokument kojim definira redoslijed zavarivanja daje se radniku koji je uključen u proces izrade elemenata trupa, montaže i ostalog prilikom čije izrade se koriste tanki limovi i profili kako bi se postigla dimenzionalna točnost. Najveće deformacije nastaju uslijed unosa topline prilikom privarivanja, zavarivanja, rezanja i ostalog, te je potrebno strogo pridržavanje redoslijeda radova. Svrha redoslijeda zavarivanja aluminijske konstrukcije je smanjiti zaostala naprezanja na minimum.

Moguće deformacije se mogu ograničiti sljedećim mjerama:

- Materijal mora biti naručen i isporučen sukladno standardima;
- Korištenjem limova i profila bez početnih deformacija,
- Korištenjem odgovarajućih radnih pozicija sa potrebnim uporama i podlogama (koljevke, ravne površine i sl.) koje ne uzrokuju daljnju deformaciju,
- Točno izračunatim elemenata,
- Pažljivom pripremom elemenata koji se spajaju na predmontaži, poštujući propisanu zračnost i poravnanja elemenata kao i njihovo pravilno privarivanje i ukrućenje,
- Između elemenata je izrazito važna držati se propisane zračnosti iz razloga što u slučaju veće zračnosti potrebno je više zavarivanja, nakon čega prilikom hlađenja zavara dolazi do dodatnog naprezanja elemenata i posljedične deformacije,
- Poštivanjem propisane dimenzije zavara,
- Poštivanjem propisanog redoslijeda zavarivanja,
- Poštivanjem dokumentacijom predviđenog isprekidanog zavara,
- U slučaju deformirane strukture izbjegavati zavarivanje poprečnih elemenata,
- Izrezati rupe za prolaze i sl. u fazi rezanja materijala, najkasnije u fazi predmontaže,
- Prilikom transporta i odlaganja limova i profila obratiti pažnju na pravilno odlaganje,
- Prilikom okretanja sastavljenih elemenata na predmontaži koristiti pogodne metode i naprave kako bi se izbjegle deformacije,
- Zadržati visinu upora i pregrada unutar propisanih tolerancija,
- Ostaviti krajeve poprečnih elemenata nezavarene prema dogovoru,
- Koristiti odgovarajuće naprave (utezi, hvataljke, šipke, limove, profile) kako bi se izbjeglo ili umanjilo deformacije slobodnih krajeva.

Prilikom zavarivanja tankih limova i profila potrebno je maksimalno smanjiti unos topline, tj. deformacije smanjiti na minimum. Prilikom zavarivanja kutnih zavara koji se nalaze u velikom broju u odnosu na sučeljene, potrebno je poduzeti određene postupke kako bi se deformacije smanjile na minimum ili ih skroz otklonili.

Kao i kod radova izrade elemenata trupa na predmontažnim radovima potrebno je obratiti pozornost da se već prilikom formiranja kutnog spoja zračnost svede na minimum, privare postavi s jedne strane u dužini od 20 mm s razmakom od 300 mm i da se sa kutnikom pazi na okomitost.

Osnovne smjernice za redoslijed zavarivanja:

- Redoslijed zavarivanja je od sredine elemenata koji se spajaju prema krajevima,
- Prilikom zavarivanja neprekinutih elemenata (limovi i profili) prvo se zavaruje spoj između limova, a tek poslije se zavaruju profili,
- Ako je potrebno okretanje elemente trupa sastavljeni na predmontaži, prihvatljivo je, bez obzira na prethodno pravilo prvo zavariti profile, a tek onda nastaviti zavarivanje limova,
- Ne zavarivati elemente koji prolaze preko poprečnih ili uzdužnih zavara na limovima ako nisu navedeni spojevi na limovima zavareni.

Redoslijed zavarivanja palube prikazano je na slici 4.4.1 sa sljedećim rednim brojevima:

- 01-11: Uzdužni/poprečni spoj, lim za lim (sučeljeni spoj). Redoslijed zavarivanja je od sredine prema krajevima. Zavarivanje se izvodi naizmjenično.

Redoslijed zavarivanja tipične pregrade prikazano je na slici 4.4.2 sa sljedećim rednim brojevima:

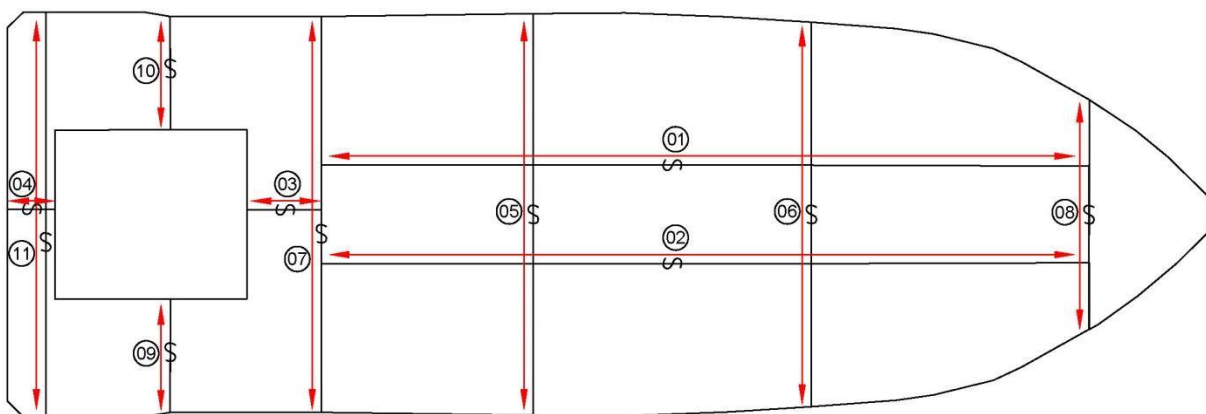
- 01: Poprečni spoj, lim za lim (sučeljeni spoj). Redoslijed zavarivanja je od sredine prema krajevima. Zavarivanje se izvodi naizmjenično.
- 02-07: Vertikalne ukrepe za lim (isprekidani kutni zavar). Redoslijed zavarivanja je od dole prema gore.
- 08-12: Vertikalne ukrepe za lim (isprekidani kutni zavar). Redoslijed zavarivanja je od gore prema dolje.
- 13: Horizontalna ukrepa za lim (isprekidani kutni zavar). Redoslijed zavarivanja je od sredine prema krajevima. Zavarivanje se izvodi naizmjenično.

Redoslijed zavarivanja tipičnog rebra prikazano je na slici 4.4.3 sa sljedećim rednim brojevima:

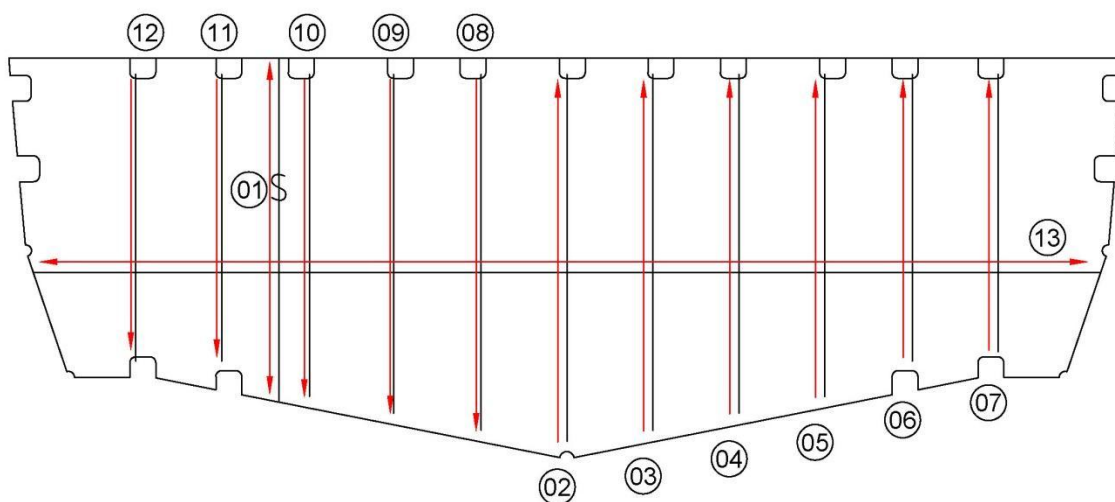
- 01-10: Uzdužni/poprečni spoj, lim za lim (sučeljeni spoj). Redoslijed zavarivanja je od sredine prema krajevima. Zavarivanje se izvodi naizmjenično.
- 11-22: Pojasna traka rebra (isprekidani kutni zavar). Redoslijed zavarivanja je od sredine prema krajevima. Zavarivanje se izvodi naizmjenično.

Redoslijed zavarivanja vanjske oplata prikazano je na slici 4.4.4 sa sljedećim rednim brojevima:

01-08: Uzdužni/poprečni spoj, lim za lim (sučeljeni spoj). Redoslijed zavarivanja je od sredine prema krajevima. Zavarivanje se izvodi naizmjenično.

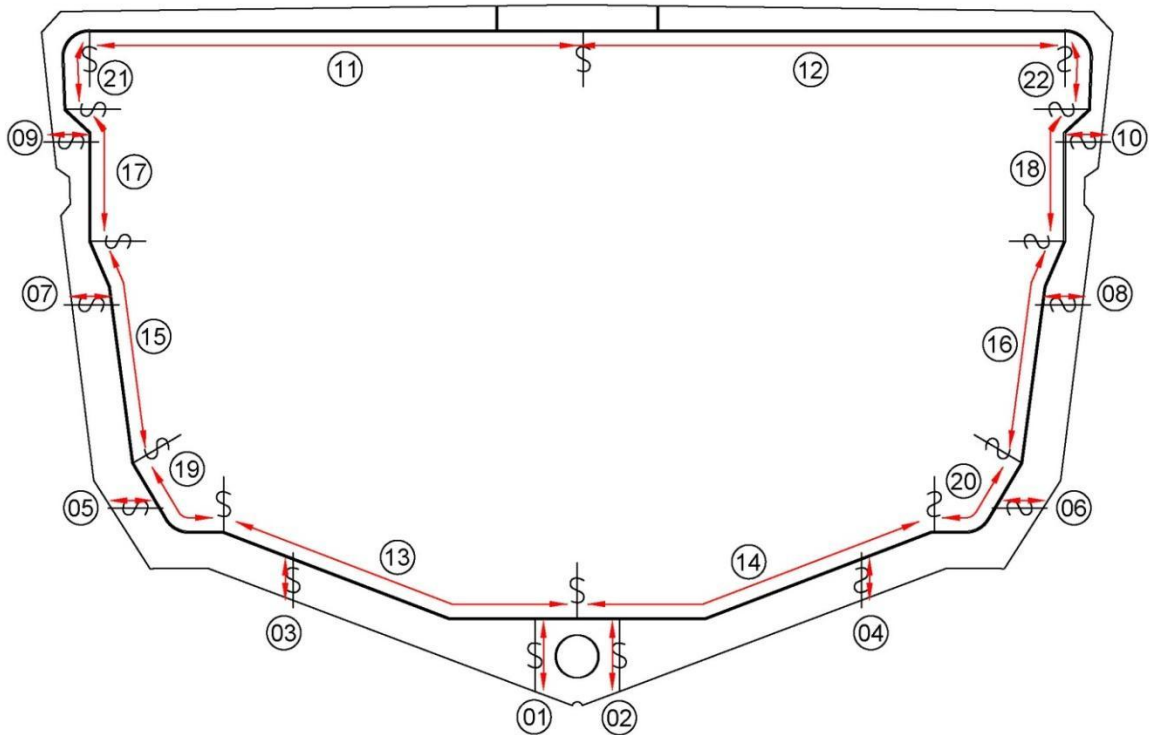


*Slika 4.4.1 Redoslijed zavarivanja palube*

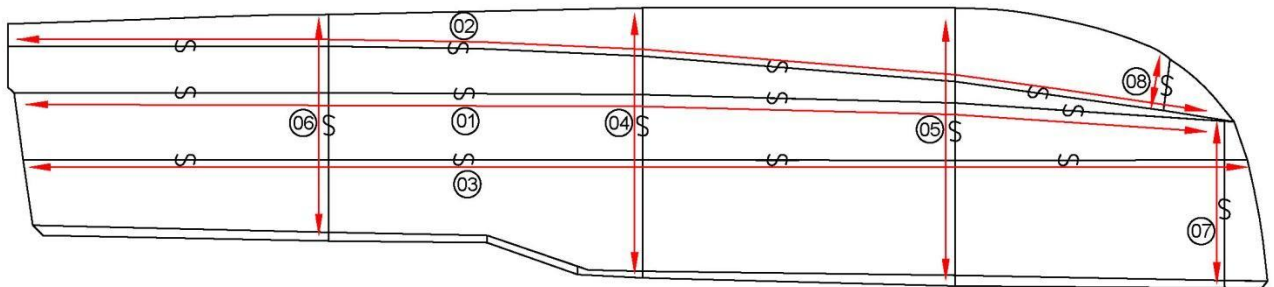


*Slika 4.4.2 Redoslijed zavarivanja tipične pregrade*





Slika 4.4.3 Redoslijed zavarivanja tipičnog rebra



Slika 4.4.4 Redoslijed zavarivanja vanjske oplata

#### 4.5. Ispitivanje zavarenih spojeva

Ispitivanje zavarenih spojeva se mogu podijeliti u tri skupine:

- Prije početka zavarivanja. Kontrola prije zavarivanja podrazumijeva kontrolu certifikata osnovnog i dodatnog materijala, radne upute za zavarivanja, atesti zavarivača, certifikati strojeva i uređaja, dokument redoslijed zavarivanja i ostalo. Metode sa razaranjem se najčešće koriste u dokazivanju materijala i metoda zavarivanja.
- Tijekom izvedbe zavarivanja. Kontrola tijekom izvođenja vodi nadzorni inspektor za zavarivanje. Kako bi svaki zavar bio prema radnim uputama za zavarivanje potrebno je provjeravati zavarivača ako je poštivao sve zadane parametre. Provjerava se detalj spoja zavara, redoslijed zavarivanja, parametri na uređaju za zavarivanje. Kontrolu je potrebno je izvoditi konstanto kako bi se pogreške smanjile na minimum. U ovoj fazi se koriste metode bez razaranja.

- Nakon završetka zavarivanja. Finalni proizvod se kontrolira ako je izrađen prema zadanim dimenzijama koje moraju biti u dogovorenoj toleranciji. Ispitivanje na vodonepropusnost zavara vanjske oplata koja se najčešće izvodi vakumskom i ultrazvučnom metodom. Prikaz trupa aluminijskog plovila na kojem se izvodi provjera zavarenih spojeva nakon završetka zavarivanja koje se vidi na slici 4.5.1.

Ispitivanje zavarenog spoja nakon završetka zavarivanja se dijeli na:

- Metoda bez razaranja. Koristi se u praksi, tj., u radioni tijekom izvođenja radova.
- Metoda sa razaranjem. Koristi se u dokazivanju da je zavareni spoj ispravno napravljen prema radnoj uputi određenog zavarenog spoja.

Metode kontrole bez razaranja su:

- vizualna kontrola,
- ispitivanje penetrantima,
- ultrazvučna kontrola,
- radiografska kontrola,
- magnetska kontrola.

Metode kontrole sa razaranjem su:

- ispitivanja kemijskog sastava materijala,
- ispitivanje tvrdoće,
- ispitivanje žilavosti,
- vlačna ispitivanja,
- dinamička ispitivanja.



*Slika 4.5.1 Trup aluminijskog plovila*

## 5. ZAKLJUČAK

Za izradu aluminijskog trupa iz rada, odabrani materijal se isplati zbog jednostavne izrade, male mase uz veliku čvrstoću, otpornosti na koroziju i velike zadržane vrijednosti kod daljnje prodaje.

Cilj rada je opisati postupak gradnje aluminijskog motornog plovila dužine 12 metara i navesti na što treba obratiti veliku pozornost, podijeljeno je u sljedeće faze:

- Postupak specificiranja i naručivanja materijala za gradnju trupa plovila. Veliki izazov u ovoj fazi je predvidjeti ukupnu količinu materijala te nabavku istog u dimenzijama limova i profila koje odgovaraju zahtjevima tehnologiji radionice u kojoj će se graditi plovilo.
- Postupak izrada konstrukcijskih elemenata trupa. U ovoj fazi je potrebno dobro planiranje, kao što su dimenzija elemenata s ciljem da poslažu na limu na kojem se režu s minimalno škarta i da izrezani elementi imaju što više detalja (otvori na rebrima za prolaz uzdužnih elemenata i skalopi za zavare).
- Postupak gradnje trupa i zavarivanje. Ovisno o opremljenosti radionice i vještine radnika najviše definira izvođenje radova gradnje aluminijskog trupa. Posebnu pozornost treba posvetiti na unos topline kod zavarivanja te redoslijedu zavarivanja jer tu se najčešće dešavaju pogreške koje dovode do deformacija ili gubitka mehaničkih svojstva osnovnog materijala. Stoga je potrebno sve vrste kontrole voditi dosljedno i organizirano.

## LITERATURA

- [1] S Interneta, <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/ron-covell-shows-you-how-to-mig-weld-aluminum-with-a-spool-gun>, 12.08.2022.
- [2] Dejhalla, R.: "Gradnja i održavanje malih plovnih objekata", Sveučilište u rijeci, Tehnički fakultet
- [3] Zamarin, A.: "Konstrukcija malih plovnih objekata", Sveučilište u rijeci, Tehnički fakultet
- [4] Meden, G.; Pavelić, A.; Pavletić, D.: „Osnove zavarivanja“, Rijeka, 2000.
- [5] Jožić D.: „Aluminij u brodogradnji“, Tehnički fakultet, Rijeka 2017.
- [6] Tepić, P.: "Tehnologija gradnje trupa aluminijskog motornog plovila dužine 12 metara" Tehnički fakultet, Rijeka 2017.
- [7] S Interneta, "Osnovni postupci zavarivanja": <http://www.ram-rijeka.com>, 07.05.2022.
- [8] S Interneta, <https://www.mdm.si/hr/trgovina/aluminij/limovi/hladno-valjani-limovi/?view=en-aw5083%7e4%7e15001%7e3000>, 07.05.2022.
- [9] S Interneta, <https://marinemetalsholland.com/services/waterjet-cutting#&gid=1&pid=3>, 07.05.2022.
- [10] S Interneta, <https://www.gizmoplans.com/what-are-the-hazards-of-cutting-aluminum-with-plasma/>, 07.05.2022.
- [11] Skip Structure Committee: „Aluminium structure design and fabrication guide“, Washington, 2007
- [12] S Interneta, <https://www.zavarivanje.info/cd/11940/zavarivanje-moderni-postupci-mig-mag-tig-rel-autogeno>, 12.08.2022.
- [13] S Interneta, [https://en.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros\\_3D](https://en.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros_3D), 12.08.2022.
- [14] S Interneta, <https://technoweld.com.au/2019/05/17/wps-pqr-and-wpq-the-acronym-soup-explained/>, 12.08.2022.
- [15] S Interneta, <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/welding-procedure-039>, 12.08.2022.

## POPIS SLIKA

- Slika 1.1. Brodica od aluminija
- Slika 1.2. Opremljena brodica
- Slika 2.1.1. Tipično krmeno rebro
- Slika 2.1.2. Tipična krmena pregrada
- Slika 2.1.3. Tipično pramčano rebro
- Slika 2.1.4. Pramčana pregrada
- Slika 2.1.5. Zrcalo
- Slika 2.1.6. Vanjska oplata. – desna strana prikazana, lijeva simetrična
- Slika 2.1.7. Glavna paluba
- Slika 2.3.1. „Nesting“ Skica rezanja aluminijskog lima debljine 4 mm
- Slika 2.3.2. „Nesting“ Skica rezanja aluminijskog lima debljine 4 mm
- Slika 2.3.3. „Nesting“ Skica rezanja aluminijskog lima debljine 4 mm
- Slika 2.3.4. „Nesting“ Skica rezanja aluminijskog lima debljine 4 mm
- Slika 2.3.5. „Nesting“ Skica rezanja aluminijskog lima debljine 6 mm
- Slika 2.3.6. „Nesting“ Skica rezanja aluminijske trake 40 x 4 mm
- Slika 3.1.1. Rezanje lima vodenim mlazom [9].
- Slika 3.1.2. Rezanje lima plazmom [10].
- Slika 3.2.1.1. Zavaren prsten rebra na stolu
- Slika 3.2.2.1. Zavarivanje uzdužnjaka
- Slika 4.1.1. MIG postupak zavarivanja [12].
- Slika 4.2.1.1 Stupovi kolijevke.
- Slika 4.2.1.2 Povezivanje stupova kolijevke
- Slika 4.2.1.3 Dodatni vertikalni profili
- Slika 4.2.1.4 Montiranje L-profila
- Slika 4.2.1.5 Montiranje aluminijskih limova
- Slika 4.2.2.1 Montaža glavne palube
- Slika 4.2.3.1 Montaža palube kormilarnice
- Slika 4.2.4.1 Montaža vodonepropusnih pregrada
- Slika 4.2.5.1 Montaža rebara
- Slika 4.2.6.1 Montaža kobilice i sidrene niše
- Slika 4.2.7.1 Montaža rebara sa temeljem propulzora
- Slika 4.2.8.1 Montaža gornje polovice pokrova tankova sa rebrima
- Slika 4.2.8.2 Montaža bočne stranice tanka
- Slika 4.2.9.1 Montaža rebara.
- Slika 4.2.10.1 Montaža nosača motora sa rebrima
- Slika 4.2.11.1 Montaža uzdužnjaka.
- Slika 4.2.12.1 Postavljanje vanjske oplata
- Slika 4.3.1.1 Radna uputa za zavarivanje
- Slika 4.4.1 Redoslijed zavarivanja palube
- Slika 4.4.2 Redoslijed zavarivanja tipične pregrade
- Slika 4.5.1 Redoslijed zavarivanja tipičnog rebra
- Slika 4.4.4 Redoslijed zavarivanja vanjske oplata

## **POPIS TABLICA**

- Tablica 2.1. Mehanička svojstva [11].
- Tablica 2.1.1. Tablica 2.1.1. Specifikacija materijala za limove i profile po pozicijskim brojevima
- Tablica 2.2.1. Preliminarna narudžbena specifikacija
- Tablica 2.4.1. Konačna narudžbena specifikacija materijala