

# Plovilo sa zračnom propulzijom

---

**Bilanović, Ante**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2008**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:113006>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-02**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

# DIPLOMSKI RAD

Mentor

Doc. dr .sc. Kalman Žiha

Ante Bilanović

Zagreb, 2008

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno uz pomoć znanja stečenog na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, navedene literature, te uz pomoć i vođenje mentora

Doc. dr. sc. Kalmana Žihe.

## SADRŽAJ

<b>1. SAŽETAK</b>	1
<b>2. UVOD</b>	2
<b>3. KARAKTERISTIKE PLOVILA SA ZRAČNOM PROPULZIJOM</b>	3
<b>4. OPIS PODRUČJA DJELOVANJA</b>	11
4.1. Kopački rit	11
4.2. Neretva	19
4.3. Vransko jezero	25
<b>5. SLIČNI BRODOVI</b>	32
<b>6. KONSTRUKCIJA</b>	38
6.1. Općenito	38
6.2. Opis konstrukcije	38
6.3 Dimenzioniranje konstrukcije prema pravilima HRB	39
<b>7. OPĆENITO O ALUMINIJU U BRODOGRADNJI</b>	48
<b>8. TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA ALUMINIJA</b>	50
<b>9. PROPULZIJA</b>	56
9.1. Aerodinamičke i konstruktivne karakteristike propelera	56
9.2. Odabir propelera i motora	60
<b>9. PROVJERA MASA I STABILNOSTI</b>	66
<b>10. TEHNIČKI OPIS</b>	69
<b>11. LITERATURA</b>	72
<b>12. ZAKLJUČAK</b>	73
<b>13. PRILOZI</b>	74

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1</b> – Izgled ranog tipa plovila sa zračnom propulzijom	3
<b>Slike 2 i 3</b> – Trupovi od stakloplastike i aluminijski	4
<b>Slika 4</b> – Veliko plovilo sa zračnom propulzijom nosivosti 8 tona	4
<b>Slika 5</b> – Jednosjedno plovilo sa zračnom propulzijom	5
<b>Slika 6</b> – Smještaj motora nisko u trupu zbog stabilnosti	6
<b>Slika 7</b> – Zaštitni kavez motora i propelera	7
<b>Slike 8 i 9</b> – Dvokraki kompozitni i trokraki drveni propeler	7
<b>Slike 10 i 11</b> – Kompozitni propeleri postavljeni u turbinsku konfiguraciju	8
<b>Slika 12</b> – Plovilo sa zračnom propulzijom u oštrom manevru	8
<b>Slika 13</b> – Plovilo sa zračnom propulzijom izlazi bez problema na kopno po strmini	9
<b>Slika 14</b> – Plovilo sa zračnom propulzijom kreće se uzvodno bujicom	9
<b>Slika 15</b> – Smještaj vozača i komandi	10
<b>Slika 16</b> – Karta područja Kopačkog rita	12
<b>Slika 17</b> – Kopački rit u poplavnom razdoblju	13
<b>Slika 18</b> – Formiranje rita između Drave i Dunava	14
<b>Slika 19</b> – Jedan od brojnih kanala u Kopačkom ritu	15
<b>Slika 20</b> – Bogate biljne zajednice Kopačkog rita	16
<b>Slika 21</b> – Ušće Neretve	19
<b>Slika 22</b> – Satelitska snimka ušća	20
<b>Slika 23</b> – Karta hrvatskog dijela toka neretve	21
<b>Slika 24</b> – obrađeni dio delte	22
<b>Slika 25</b> – Neisušeni dio delte Neretve	22
<b>Slika 26</b> – Jezero Kutu	24
<b>Slika 27</b> – Karta Vranskog jezera	25
<b>Slika 28</b> – Zračni snimak Vranskog jezera s južne strane	26
<b>Slika 29</b> – Niska obala jezera na strani Vranskog polja	28
<b>Slika 30</b> – Veliki poplavni prostor Vranskog jezera	29
<b>Slika 31</b> - Jedrenje na Vranskom jezeru	31
<b>Slika 32</b> - SAR3000	32
<b>Slika 33</b> - 20 ft AirRanger	33

<b>Slika 34</b> - DiamondBack 20ft	33
<b>Slike 35 i 36</b> - Canadian Airboats 16ft	34
<b>Slika 37</b> - Panther Airboats 16ft	35
<b>Slika 38</b> - Panther Airboats 18ft	35
<b>Slika 39</b> - Panther Airboats 18ft	36
<b>Slika 40</b> - Helikoidalna linija kretanja propelera	56
<b>Slika 41</b> - Oblik kraka aeroprofila RAF-6	63
<b>Slika 42</b> - 3D model plovila sa zračnom propulzijom	66
<b>Slika 43</b> – pogled s gornje desne strane	
<b>Slika 44</b> – pogled od sprijeda	
<b>Slika 45</b> – pogled s stražnje gornje strane	
<b>Slika 46</b> – pogled s boka na pogonski sustav	

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 1</b> – Značajke sličnih brodova	32
<b>Tablica 2</b> – Sve mase (preliminarno)	36
<b>Tablica 3</b> – žice i šipke za zavarivanje	50
<b>Tablica 4</b> – Osnovni podatci programa Hullspeed	60
<b>Tablica 5</b> – Izlazni podatci programa Hullspeed	61
<b>Tablica 6</b> - Izračun značajki propulzije	64
<b>Tablica 7</b> – Izlazni podatci ravnotežnog stanja	67

## POPIS DIJAGRAMA

<b>Dijagram 1</b> – ovisnost koeficijenta opterećenja o brzini i duljini brodice	40
<b>Dijagram 2</b> – Odnos brzine i otpora	62
<b>Dijagram 3</b> - Zavisnosti aerodinamičkih koeficijenata za rad u mjestu	63
<b>Dijagram 4</b> - Radna karakteristika motora GM Vortec 8100	65

## POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA

$L_{OA}$	m	duljina preko svega
$B$	m	širina
$D$	m	gaz
$H$	m	visina trupa
$m$	kg	masa
$\Delta$	kg	istisnina
$v$	čv	brzina
$\rho_s$		koeficijent opterećenja dna
$k$		koeficijent za čamce s jakim motorima
$\rho_p$		koeficijent opterećenja palube
$\rho_b$		koeficijent opterećenja bokova
$\delta_{0.2}$		vlačna čvrstoća
$f_1$		faktor korekcije za materijal
$f_z$		faktor korekcije za materijal za računanje momenta otpora presjeka
$s$	mm	razmak nosača
$t$	mm	debljina elemenata konstrukcije
$l$	mm	nepoduprti raspon nosača
$Z$	mm <sup>3</sup>	moment otpora presjeka
$b_e$	mm	unosiva širina
$Z_{max}$	mm	najveća udaljenost od neutralne linije
$\theta$	°	lokalni konstruktivni nagibni kut kraka propelera
$H$	m	konstruktivni ili geometrijski korak propelera
$h$		relativni ili specifični konstruktivni korak propelera
$D$	m	promjer propelera
$H_0$	m	nominalni konstruktivni korak propelera
$H_A$	m	aerodinamički korak propelera
$\varphi$	°	lokalni aerodinamički nagibni kut propelera
$\alpha$	°	lokalni napadni kut



$n$		broj okretaja
$T_p$	N	sila poriva
$k_O$		parametar oblika propelera
$\gamma$		koeficijent rada propelera
$C_T$		aerodinamički koeficijent potisne sile
$C_p$		aerodinamički koeficijent snage
$\eta$		koeficijent korisnosti propelera
$\nabla$	$m^3$	Volumen istisnine
$\rho$	$kg/m^3$	gustoća

## 1. SAŽETAK

Projektni zadatak je osnovati i konstruirati plovilo sa zračnom propulzijom za močvarna područja koje se pod punim opterećenjem može nesmetano kretati po vodi, blatu, travi pa i čvrstoj podlozi.

U ranoj fazi izrade diplomskog rada prikazane su karakteristike močvarnih područja Hrvatske te postojećeg stanja razvoja plovila sa zračnom propulzijom.

Kao osnova za izradu projekta, izvršena je analiza sličnih plovila na temelju koje je odabran prototip koji je korišten za odabir osnovnih dimenzija.

Prema preliminarnim dimenzijama napravljena je konstrukcija i izračunate su mase trupa i opreme. S tim podacima i modelom trupa izrađenom u programu Maxsurf izvršena je provjera nosivosti i gazova.

U sljedećem poglavlju izrađeno je rješenje konstrukcije trupa i dat opis glavnog konstrukcijskog materijala – aluminijske slitine te opisana tehnologija zavarivanja aluminija.

Odabir pogonskog stroja i propulzora proveden je prema sličnom brodu uz prethodno upoznavanje s osnovnim parametrima zračne propulzije.

Nakon proračuna konstrukcije i propulzije provjereno je da li konačna masa plovila zadovoljava zahtjeve gaza i stabilnosti.

Oprema je odabrana po uzoru na sličan brod.

U posljednjem poglavlju diplomskog rada prikazan je tehnički opis projekta.

## 2. UVOD

Nekoliko većih požara u močvarnim područjima Hrvatske, Kopačkom ritu i Vranskom jezeru koji su zaštićeni parkovi prirode i ornitološki rezervati ukazalo je na problem prevoza ljudi i opreme u takvim područjima. Postoji i mnogo svakodnevnih zadaća koje bi se jednostavnije obavljale s prevoznim sredstvom koje ima istinsku mogućnost kretanja po svim podlogama koje se javljaju u močvarnim područjima, poput ophodnji parkovima prirode, ekoloških operacija i turističkih izleta. Ipak krizne zadaće poput prevoza vatrogasaca i timova hitne pomoći te spašavanje unesrećenih posebno naglašavaju potrebu za brzim i sigurnim prevoznim sredstvom koje bez problema može savladati sve prepreke koja močvara može staviti pred njega.

Odgovor može biti plovilo sa zračnom propulzijom. Takav tip plovila se već dugo i uspješno koristi u velikim močvarama Sjedinjenih američkih država. Naročito su se iskazali prilikom spašavanja i pružanja pomoći u New Orleansu i okolnom području nakon uragana Katrina 2005 godine.

Na prijedlog mentora proučit ću postojeća plovila sa zračnom propulzijom i na temelju prikupljenih podataka dati prijedlog konstrukcije takvog plovila, proračunati propulziju te opisati materijal i tehnologiju izrade trupa. Također proučit ću područja u kojima bi plovilo djelovalo i dati njihov opći opis.

### 3. KARAKTERISTIKE PLOVILA SA ZRAČNOM PROPULZIJOM

Prvo plovilo sa zračnom propulzijom sagrađeno je 1905 u Kanadi, a projekt je vodio Dr. Alexander Graham Bell. Dobio je ime *Ugly Duckling* i koristili su ga za testiranje različitih kombinacija motora i propelera. Prvo plovilo sa zračnom propulzijom registrirao je u SAD-u na Floridi suradnik Dr. Bella na originalnom projektu Glen Hammond Curtiss. Tridesetih godina prošlog stoljeća počeli su se masovnije koristiti u močvarama južnog SAD-a. Postoji dobro dokumentiran slučaj samogradnje koju su 1940. realizirali zaposlenici ptičjeg rezervata Bear River kod Brigham City u državi Utah. Tijekom godina isprobavane su najrazličitije izvedbe, uglavnom po načelu pokušaja i pogrešaka.



Slika 1 – Izgled ranog tipa plovila sa zračnom propulzijom

Iako se početna koncepcija plitkog trupa s ravnim dnom i malim gazom te motora i propelera u zaštitnom kavezu na krmu nije mnogo mijenjala, svaki pojedini element prošao je popriličan razvojni put.

Trup je u početku bio od drva, a i danas se javlja kod "uradi sam" gradnji u vlastitom dvorištu. Kako se preferira što manji gaz razvoj je bio usmjeren laganijim materijalima. Kod trupa je uz izloženost vodi i atmosferi bitan segment i habanje jer je u radu trup često u kontaktu s čvrstom podlogom.

Danas se za ozbiljnu upotrebu koristi aluminij, a manje stakloplastika uz obaveznu polimernu oblogu dna koja služi za smanjivanje trenja i štiti trup od trošenja.



Slike 2 i 3 – Trupovi od stakloplastike i aluminija

Trup od aluminija je čvršći i otporniji na udarce i habanje te je danas, kada su usavršene metode zavarivanja aluminija, zapravo materijal odabira. Neki proizvođači trupova iz Sjedinjenih američkih država daju doživotnu garanciju na aluminijske trupove bez obzira na uvjete korištenja.

Oblik trupa je skoro uniforman, i zapravo pravokutna prizma odsječena na pramcu. Dužina trupa se kreće u rasponu od 3,5 do 10 metara.



Slika 4 – Veliko plovilo sa zračnom propuzijom nosivosti 8 tona

Velika plovila sa zračnom propulzijom mogu prenijeti i nekoliko vozila i obično imaju dva motora i dva propelera (Sl.4), dok su najmanji zapravo jednosjedi (Sl.5).



Slika 5 – Jednosjedno plovilo sa zračnom propulzijom

Natjecateljski primjerci razvijaju brzine do 150 čvorova, dok je raspon maksimalne brzine civilnih primjeraka između 35 i 60 čvorova. Te brzine se odnose na plovidbu u povoljnim uvjetima.

Od početka su se koristili i automobilski i avionski motori. Iako su avionski motori lakši i okretajima bolje prilagođeni zračnoj elisi, zbog skupljeg i teže dostupnog visokooktanskog goriva uglavnom se koriste benzinski automobilski motori sa šest i osam cilindara raspona snage od 250 do 600 konjskih snaga.

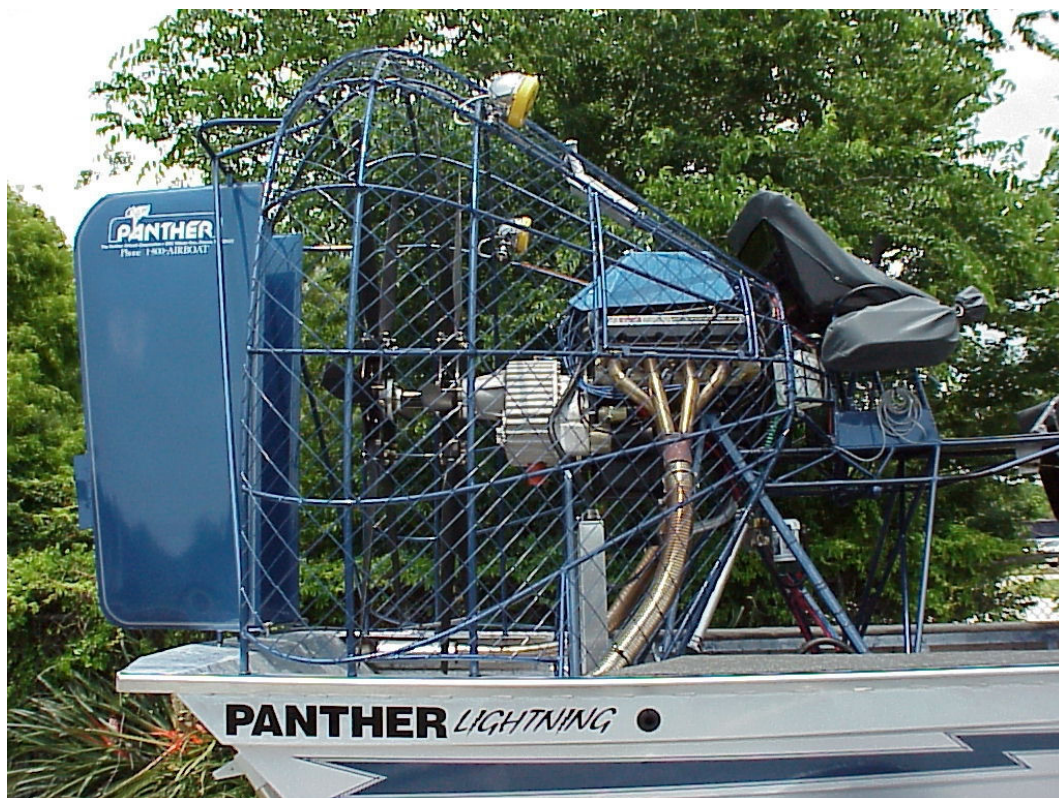
Da bi isporučili snagu propeleru u rasponu okretaja u kojima je može apsorbirati, opremaju se reduktorima s odnosom 2:1 i 2,3:1. Tradicionalni smještaj motora je relativno visoko s koljenastim vratilom u razini osi propelera. Novo rješenje je smještaj motora na dno trupa uz remenski prijenos s redukcijom do propelera (Sl.6).



Slika 6 – Smještaj motora nisko u trupu zbog stabilnosti

Takav smještaj znatno doprinosi stabilnosti plovila, zbog snižavanja težišta te doprinosi boljem pritjecanju zraka propeleru. Poboljšana stabilnost je naročito značajna za upotrebu u dubljim, otvorenim vodama većih jezera ili čak mora.

Vozač je smješten ispred zaštitnog kaveza (Sl.7) koji štiti motor i propeler od oštećivanja te vozača i putnike od ozljeđivanja pokretnim dijelovima. Kod standardnog smještaja motora tank goriva nalazi se ispod motora, također unutar zaštitnog kaveza, a kod izvedbe s nisko postavljenim motorom tank se nalazi u bočnim dijelovima dvodna.



Slika 7 – Zaštitni kavez motora i propelera

Koriste se drveni, metalni i kompozitni propeleri s dva, tri i više krakova u standardnoj izvedbi i kao koaksijalni kontrarotirajući.



Slike 8 i 9 – Dvokraki kompozitni i trokraki drveni propeler





Slike 10 i 11 – Kompozitni propeleri postavljeni u turbinsku konfiguraciju

Najveći napredak su donijeli karbonski kompozitni propeleri koji imaju malu masu, odličnu čvrstoću te smanjeno generiranje buke. Za smanjivanje buke služe i prigušni lonci na ispušnom sustavu koji su dugo vremena nisu koristili. Kompozitna krila u turbinskoj dvostupanjskoj konfiguraciji imaju najveći stupanj iskoristivosti.

Upravljanje se postiže zračnim kormilima koja su u pravilu u paru, smještena iza zaštitnog kaveza. Upravljivost je vrlo dobra samo treba imati na umu da je za promjenu smjera potreban potisak, tj. pri skretanju se ne smije oduzeti gas (Sl.12).



Slika 12 – Plovilo sa zračnom propulzijo u oštrom manevru

Kada su trup, motor i propeler dobro usklađeni ovaj tip plovila ima prohodnost bez premca( Sl.13 i 14).



Slika 13 – Plovilo sa zračnom propulzijom izlazi bez problema na kopno po strmini



Slika 14 - Plovilo sa zračnom propulzijom kreće se uzvodno bujicom

Kormilo se upravlja polugom koja se pomiče se naprijed-natrag te traži razdoblje privikavanja, tj. osposobljenog vozača za ozbiljne zadaće. Gas se nalazi u obliku papučice ispod desne noge. Vozač još ima na raspolaganju instrumente koji mu prikazuju parametre rada motora, brzinomjer, brojač sati rada, te stanja tanka goriva.



Slika 15 – Smještaj vozača i komandi

## 4. OPIS PODRUČJA DJELOVANJA

### 4.1. Kopački rit

KOPAČKI RIT (Kopački tršćak) je park prirode koji je ujedno jedan od najvećih i najatraktivnijih očuvanih fluvijalno – močvarnih nizina u Europi. Zbog svoje očuvanosti kao rijetkog ritskog ekosustava, velike biološke raznolikosti i izuzetne znanstvene i ekološke

vrijednosti, Kopački rit je 1967. godine zaštićen statusom Upravljanog prirodnog rezervata. To je uže područje rezervata, a šire područje od 10510 ima status Parka prirode. Međunarodni značaj Kopačkog rita potvrđen je 1993. godine uvrštenjem na popis međunarodno

značajnih močvara, sukladno Romsarskoj konvenciji.

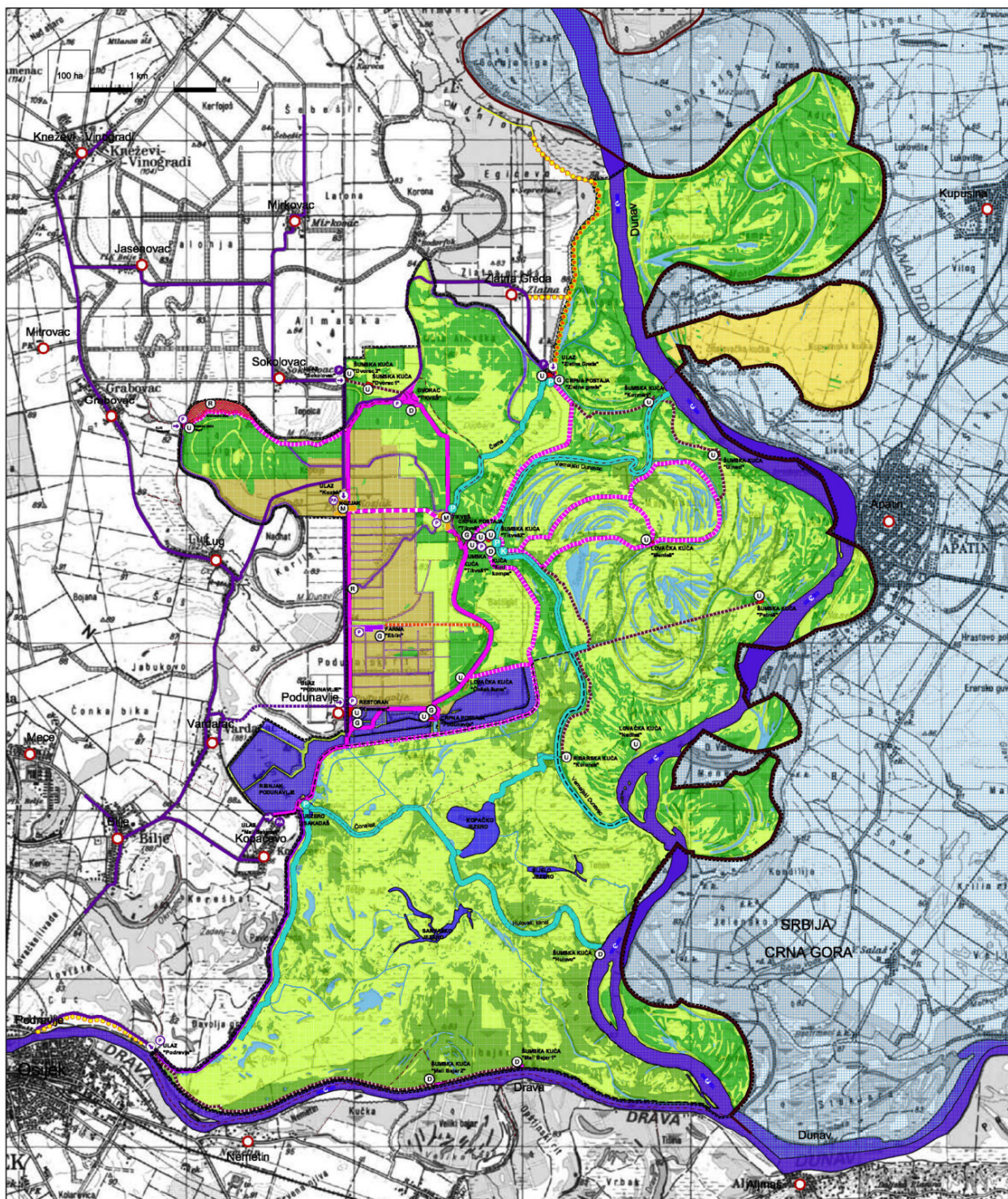
Kopački rit uvršten je i u listu ornitološki značajnih područja – IBT (Important bird area), a nominiran je i za uvrštenje u UNESCO (Svjetska prirodna baština).

Područje Kopačkog rita proteže se od najjužnijeg dijela desne obale Dunava koji je s juga omeđen rijekom Dravom, na istoku rijekom Dunavom, a sa zapadne i sjeverne strane obrambenim nasipom Drava-Dunav, te Vemeljskim dunavcem, tj. on obuhvaća područje Posebnog zoološkog rezervata.

Sjeverno i zapadno od današnjih granica Parka prirode Kopački rit nalaze se značajne, ali još uvijek nezaštićene poplavne površine rijeke Drave i Dunava koje se protežu sve do Batine na sjeveru, te Donjeg Miholjca na zapadu.

Reljef područja Kopačkog rita je rezultat rada voda, tj. tijekom godine znatno mijenja svoj izgled, ovisno o intenzitetu plavljenja.

Na hidrologiju tog Parka prirode, osobito poplavnog dijela, direktno utječe rijeka Dunav, dok je utjecaj Drave indirektan.



Slika 16 – Karta područja Kopačkog rita

Dugoročno gledano, poplavno područje Dunava u Posebno zoološkom rezervatu (7200 ha) je prosječno 99 dana pod vodom, dok je 266 dana suho pri čemu stalne vodene površine ( Kopačko jezero, jezero Sakadaš, Novi kanal, Csonak ut i Hukovski kanal) iznose približno 281 ha. Iako se poplave mogu pojaviti u bilo koje doba godine, u razdoblju od ožujka do kolovoza u prosjeku je karakterističan visok vodostaj, a u razdoblju od rujna do veljače niski vodostaj.



Slika 17 – Kopački rit u poplavnom razdoblju

Naime, u proljeće se počinju otapati velike količine snijega i leda u Alpama, pa vodostaj tih dviju rijeka raste. Kako Drava ima kraći i ravniji tok, njezine nabujale vode prve stižu u obliku vodenog vala do ušća u Dunav, čije korito još može primiti tu količinu vode. Za to vrijeme tok Dunava široko zavija po Srednjoj Europi i kad njegov vodeni val stigne do ušća Drave nailazi na zapreku koju čine dravske vode i Aljmaška planina.

Tada korito Dunava ne može primiti tu količinu vode te ona počinje ulaziti sistemom Kanala u Kopački rit uzrokujući poplave. Voda ulazeći i izlazeći iz poplavnog područja formira reljef specifičnog izgleda.

Mozaično raspoređeni dijelovi ritskog kopna i voda mijenjaju svoju veličinu, oblik i funkciju ovisno o količini nadošle vode. Unatoč prividno jednoličnom nizinskom izgledu, mikroreljefna struktura Kopačkog rita je vrlo složena.



Slika 18 – Formiranje rita između Drave i Dunava

Rijeke u svom životnom toku stvaraju sprudove i otoke-ade-te rukavce po imenu "dunavac" ili "stara Drava". Nasuprot tome, vode na poplavnom području na jednom mjestu talože nanose, dok na drugom mjestu produbljuju teren pa područje dobiva valovit izgled te tako nastaju bare (tj. depresije) i grede (tj. povišena područja).

Između bara i greda visinska razlika iznosi nekoliko metara. Na cijelom području Parka prirode najnižu nadmorsku visinu predstavljaju dno Kopačkog jezera, oko 78 metara nadmorske visine, dok je najviša na 86 metara nadmorske visine, što znači da je razlika svega 8 metara. Bare se na krajevima spajaju i preko jednog prirodnog kanala tzv. "foka", te ulaze u dunavac ili Dunav. Upravo fokovi služe za pražnjenje i punjenje bara. Fokovi su često bili umjetno produbljavani, a također ima i umjetno iskopanih kanala koji su preuzeli funkciju kanala.

Najveće jezero je Kopačko, a najdublje Sakadaško jezero. Kanali su veze između Dunava i Drave, a postoji i splet kanala koji čine vodene veze unutar rita.



Slika 19 – Jedan od brojnih kanala u Kopačkom ritu

Najveći dotok vode u rit je iz Dunava putem Hulovskog kanala i ostalih dunavskih kanala, a puno manji dotok vode je iz Drave preko Renovskog i drugih dravskih kanala.

Upravo ovakav raspored bara i greda ovom području daje jedinstven izgled.

Cijelo poplavno područje poprima izgled delte, a jedinstveno da rijeka Dunav u svom srednjem toku, uz pomoć rijeke Drave, stvara tzv. unutrašnju deltu. Takav fenomen kod drugih europskih rijeka u ovakvom obliku nije poznat te daje ovom području svjetski značaj.

Ako Kopački rit ikad bude upisan u listu Svjetske prirodne baštine, bit će prvenstveno upisan zbog ovoga fenomena jer ga i mnoge druge, veće i značajnije rijeke u svijetu nemaju.

Zahvaljujući vodi koja ulazeći i izlazeći iz poplavnog područja, koja pritom formira reljef specifičnog izgleda, može se naći više desetaka različitih staništa – od otvorene vode,



preko tršćaka, vrbovih i topolovih do hrastovih šuma. Pojava toliko različitih biljnih zajednica pogoduje i životinjskom svijetu koji je bogat i raznovrstan.

Od šumskih zajednica najveće površine prekrivaju šume bijele vrbe, na nešto višim terenima razvija se šuma bijele vrbe i crne topole, dok se na još uzdignutijim mjestima nalaze šume crne i bijele topole. Na Širem području Kopačkog rita nalaze se i hrastove šume i to na nižim terenima šume hrasta lužnjaka i velike žutilovke, a na gredama zajednice hrasta lužnjaka i graba.



Slika 20 – Bogate biljne zajednice Kopačkog rita

Najveće površine u ritu prekriva vodena i močvarna vegetacija s mnogobrojnim zajednicama od kojih su najrasprostranjeniji tršćaci i zajednice visokih šaševa koje ujedno i daju karakterističan ritski izgled. Više od dosada registriranih 400 biljnih vrsta govori o velikoj vegetacijskoj raznolikosti tog područja i predstavlja posebnu ekološku vrijednost budući su slična područja u Europi uglavnom nastala uslijed melioracija i utvrđivanja riječnih korita.

Nakon prosječno devetomjesečnog niskog vodostaja, nailaskom poplavne vode mnoge suhozemne životinje (npr. mali glodavci, kukci, kornjače) u velikom broju stradaju. Pri tome ih pojedu vodeni organizmi poput riba i rakova. S druge strane krajem ljeta kad se vode vraćaju u korita rijeka, mnoštvo vodenih organizama, riba, žaba, školjki zaostaje na suhom ili u izoliranim barama. Tada suhozemne životinje koriste priliku te se hrane s vodenim životinjama. Ova kompeticija tj. borba između vodenih i kopnenih organizama daje Kopačkom ritu također jedan važan ekološki značaj.

Za vrijeme obilnih poplava veliko područje pitke i tople vode, te obilje hrane podvodne vegetacije predstavljaju idealne uvjete za mrijest riba, tako da je Kopački rit uz Deltu Dunava, najvažnije mrijestilište ove rijeke.

Utvrđeno je 44 vrste riba, a brojnošću se ističu šaran, štuca, som, smuđ te u posljednje vrijeme babuška ili srebreni karas. Od vodozemaca zabilježeno je ukupno 11 vrsta riba, od kojih je 7 vrsta žaba. Gmazovi, kao skupina kralješnjaka koja zahtjeva sušnija staništa na kojima polažu jaja, nije zastupljena s velikim brojem vrsta. Do danas je zabilježeno 10 vrsta gmazova od kojih ističemo barsku kornjaču te 5 vrsta zmija.

Kao zanimljivost je činjenica da je na području Kopačkog rita zabilježeno čak 19 vrsta komaraca.

Osnovnu prepoznatljivost Kopačkom ritu daju ptice. Do danas je zabilježeno 291 vrsta ptica od kojih se 141 vrsta redovito ili povremeno gnijezdi. U velikim kolonijama od nekoliko stotina do tisuća pari gnijezde čaplje, bjelobrada čigra i veliki vranac. Na području Kopačkog rita gnijezdi se i preko 20 pari orla štekavca, 5 pari crnih roda, 1-2 para stepskog sokola, 40 pari bijelih čapljica te oko 100 pari divljih gusaka; vrste koje su ugrožene u svjetskim i europskim razmjerima.

Izuzetno je značajna i populacija patke nJORKE, jedne od najugroženijih europskih vrsta.

Kopački rit je svjetski poznato stanište običnog jelena – tzv. "Beljskog" jelena, čija je populacija bila trostruko veća nego u najboljim europskim staništima.

Uz njega, do danas je zabilježeno 55 vrsta sisavaca, od kojih ističemo običnu vidru, divlju mačku, divlju svinju te 12 vrsta šišmiša.

Problem s kojim se bori Kopački rit su požari, koji nisu rijetki.

U rano proljeće, prije nego nikne nova vegetacija i područje poplave proljetne vode, rit je suh. Suha je prošlogodišnja trska, šaš i trava. Tada piromani i ostali vandali namjerno zapale pojedina područja u ovom zaštićenom području prirode. Ti su požari vrlo štetni. Izgore mjesta gdje se gnijezde ptice koje obitavaju u trstiku, ali i više stotina godina stara stabla i šuma.

To je nepovratna šteta jer da bi se nadoknadila potrebno je čekati sto i više godina.

Kopački rit je turistički jako atraktivno područje. Blizina velikog grada Osijeka i njegove okolice te odlične prometne veze (ceste, željeznica, zrakoplov, brod) osiguravaju dobru posjećenost.

Ljepota "nedirnite" prirode, bogatstvo vode, biljnog i životinjskog svijeta osim izletnika i turista privlače mnoge stručnjake i znanstvenike cijele Europe.

Postoje i aranžmani u kojima je omogućeno snimanje životinja, posebice ptica.

Dio Kopačkog rita koji je pod blažim režimom zaštite lovcima i ribolovcima dostupan je za lov i ribolov.

## 4.2. Neretva

Poznato je da su se civilizacije oduvijek razvijale u blizini rijeka, ušća i neposrednog obalnog područja oko ušća. Ta su područja oduvijek bila vrlo povoljna za zadovoljavanje cijelog niza ljudskih potreba i aktivnosti.

Rijeka Neretva je duga 225 km; svojim najvećim dijelom protječe kroz Bosnu i Hercegovinu (203 km), kroz Dinarsko gorje i naposljetku utječe svojom velikom deltom u Jadransko more.

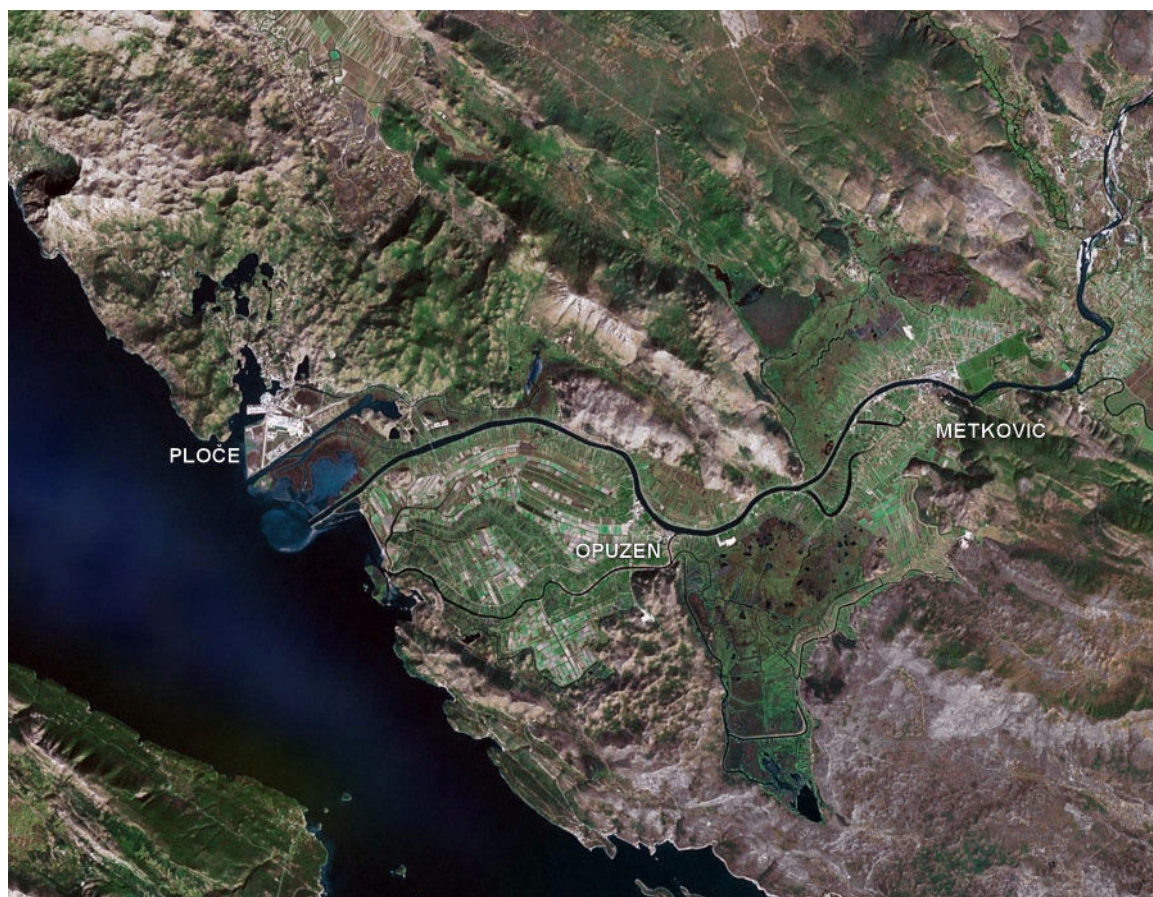
Nakon posljednjeg ledenog doba morska razina se uzdigla pa je more potopilo kraška područja sve do Hutova Blata. Šljunak i pijesak nošeni Neretvom taložili su se u dolini. Kako se more povlačilo pred nanosima rijeke nastajale su močvare, a Neretva je ispunila kraške depresije bogatim sedimentom povisujući razinu tla. Na udaljenim mjestima gdje su nanosi sedimenta bili manji ostale su močvare i jezera.

Sredinom ovih aluvijalnih nanosa u pojedinim mjestima još uvijek strše vapnenički brežuljci. Kraška morfologija kombinirana sa aluvijalnim ravnicama na kojima su močvare i obrađena polja obilježava krajolik delte Neretve i okolnih područja.



Slika 21 – Ušće Neretve

Dakle, cjelokupno područje ušća nalazi se u Hrvatskoj. Ušće obuhvaća prostor oko 156 km<sup>2</sup>, a glavna matica rijeke na ovom području je dugačka oko 22 km. Regulirani riječni tok se grana u više manjih ili većih riječnih rukavaca koji otječu u pravcu mora formirajući tako šire područje riječnog ušća.



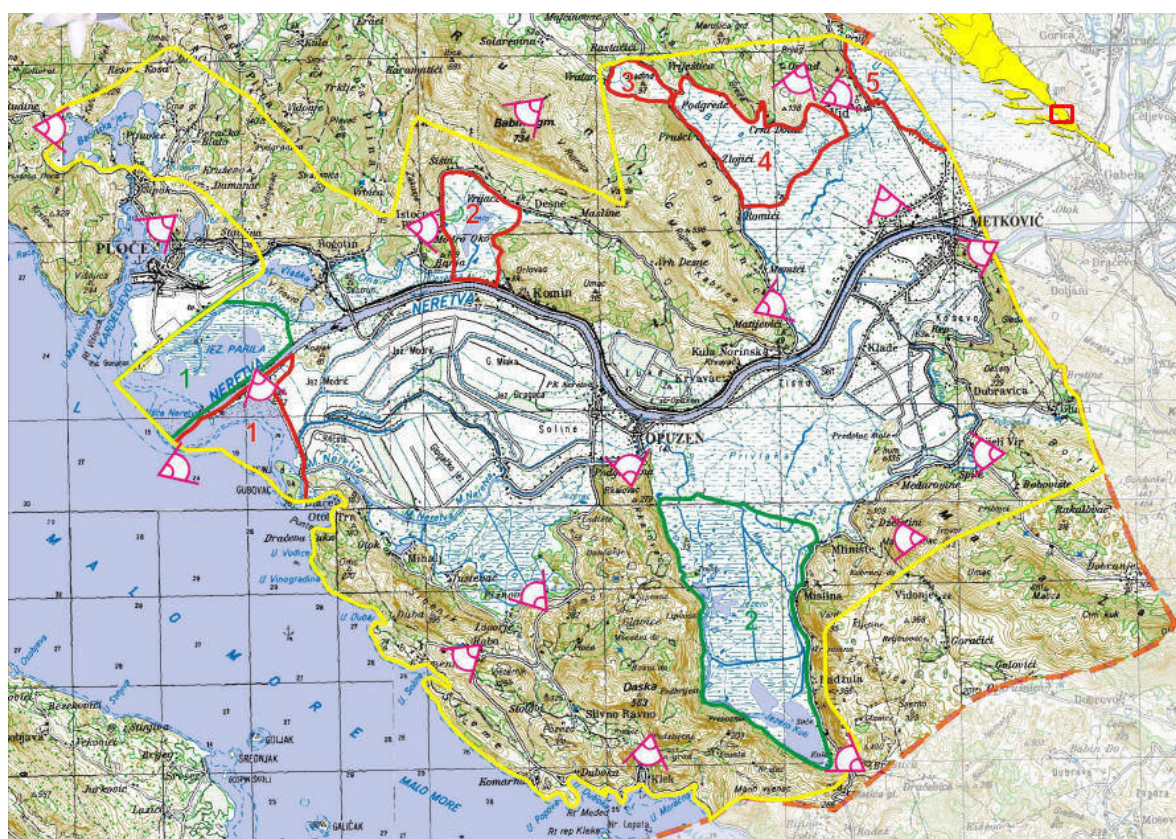
Slika 22 – Satelitska snimka ušća

Na rubnom području nalazi se više značajnih izvora koji pridonose bogatstvu vodenih tokova i zajednički formiraju jedinstveni hidrološki sustav ušća. Cjelokupno područje je relativno nisko od -6 do 6 metara nad morem.

Obalno područje Jadranskog mora odnosno Neretvanski kanal nastavak je šireg područja ušća. Iako se zove kanal to je zapravo duboki uski zaljev (30 km) koji je na mjestu ušća Neretve širok 6 km. Rijeka Neretva utječe u more koje zbog svoje konfiguracije ima relativno malu izmjenu vode tako da je dosta podložno utjecaju dotoka rijeke Neretve. Krajnji dio zaljeva, Malostonski zaljev, jedno je od najčistijih i

najzaštićenijih područja Jadranskog mora i koristi se za uzgoj školjaka, a posebno za uzgoj kamenica.

Najveći dio ovog područja pripada Hrvatskoj dok samo manji dio Neumskog kanala pripada BiH, što je ujedno i cjelokupno područje BiH. Jedino naselje na obalnom dijelu BiH teritorija je Neum koje je i najveće naselje u cijelom zaljevu. Na ovom području nalazi se više manjih turističkih naselja na obje strane zaljeva.



Slika 23 – Karta hrvatskog dijela toka neretve

U prošlosti je najveći dio ovog područja u zimskom razdoblju bio plavljen. Posljednjih pedeset godina realizirani su značajni hidromelioracijski radovi, pa je najveći dio ovog područja isušen i zaštićen od plavljenja te pretvoren u vrlo produktivno poljoprivredno zemljište.

Blaga mediteranska klima, plodno zemljište i bogatstvo vode stvaraju osnovne uvjete za intenzivnu poljoprivrednu djelatnost kroz cijelu godinu.



Slika 24 – Obradeni dio delte

Dio područja ušća nije isušen i ostavljen je u svom prirodnom obliku čineći tako značajni prirodni močvarni rezervat. Značenje ovog područja vrlo je veliko te čini jedno od najvažnijih močvarnih područja na Mediteranu.



Slika 25 – Neisušeni dio delte Neretve

Delta je dosta naseljena i u ovom području živi oko 55 000 stanovnika, a najveći gradovi su Metković i Ploče. Najznačajnije poljoprivredne aktivnosti su poljoprivreda i transport. Luka Ploče je jedna od najvećih luka na Jadranskom moru i glavna luka za BiH. Rijeka Neretva je plovna do Metkovića. Ovim područjem prolazi glavna jadranska cesta i glavna cestovna i željeznička transverzala prema Sarajevu i Mađarskoj. Najznačajnije lokalno

zagađenje čine komunalne vode, vode sa poljoprivrednih površina i prometnica. Kakvoća vode rijeke i pritoka na ovom području mjeri se više od 20 godina.

Na deltu utječe i morska voda koja se pretvara u bočatu vodu. Ona je značajna i za biološku raznolikost.

Ovo područje sadrži raznolikost habitata koji tvore prekrasan i izuzetan krajolik. Močvare, lagune, jezera, plaže, rijeke, humci (vapnenački brežuljci) i planine čine mozaik prirodnih habitata na području Doline Neretve.

Šaš, močvarna polja, pješćane plaže, grebeni, krš i pećine pružaju dobar habitat raznim vrstama biljaka i životinja.

Ušće rijeke Neretve dom je mnogim pticama i iznimno važno područje za ptičje migracije. U Dolini Neretve živi 310 vrsta ptica, a 115 od njih se tu gnijezde. Područje je važno i za migracije i prezimljavanje ptica. Plićaci i stijene pogodno su prebivalište za migraciju crnoglave strnadice, kao i vodarica, čigri i galebova. Šaš i vodene površine važni su za migracije i prezimljavanje gusaka te za preživljavanje raznih vrsta ptica.

Ušće Neretve je hranilište velike biološke proizvodnje za razne vrste riba (34 vrste riječne i 100 vrsta morske ribe). Doline, njene lagune i bočata voda mrjestilišta su za ribe i rakove koje zatim provedu ostatak života u slanoj ili slatkoj vodi. Oni služe i kao ulazi i izlazi u migracijama riba.

Gmazovi koji žive u Dolini Neretve i okolici su: barska kornjača, čančara, mrki gušter, gušterice, bjelouška, ribarica, crnokrpica i poskok.

Najčešći vodozemci koji žive u močvarama i pećinama su čovječja ribica, daždevnjaci te razne vrste žaba.

Od sisavaca tu su mesojedi poput vuka, risa na rubnim pašnjacima, vidre, kune bjelice, male lasice, tvora, jazavca, te šišmiša poput velikouhog šišmiša, riđog šišmiša, malog potkovnjaka, dugonogog šišmiša, južnog potkovnjaka, Meheljevog potkovnjaka i širokouhog mračnjaka.

Ovisno o koncentraciji soli, mogu se naći razne halofilne biljke poput rogoza, primorskog zvjezdana, primorskog omana, grmolike caklenjače, sodne solnjače i metlike.

Razne vrste hidrofilnih biljaka rastu ovisno o dubini vode: vodena leća, lopoč, žuti lokvanj, trska, šaš i uskolisni rogoz.



Higrofilne biljke rastu u blizini vode, ali najčešće izvan nje. Samo nekoliko higrofilnih drveća raste u Dolini Neretve i to poput jablana i vrbe.

Biljke koje žive u područjima oko močvara i na brdima pripadaju kserotermnoj (prilagođenoj na suhu i vrelu klimu) zimzelenoj vegetaciji makiji, za koju je karakteristična prisutnost hrasta crnike i alepskog bora. Na mjestima gdje se pojavljuje kamen vapnenac, makija postaje gariga, mediteranska skupina zeljastih biljaka i grmlja.

Dolina Neretve uključuje pet zaštićenih područja ukupne površine 1620ha. To su ornitološki rezervati Pod Gredom, Prud i Orepak, ornitološki i ihtiološki rezervat Doline Neretve te zaštićena područja Modro Oko i jezero Desne.



Slika 26 – Jezero Kutina

Jezera Kutina (Sl.26) i Parila predložena su kao ornitološki i ihtiološki rezervati.

Čitavo područje Doline Neretve predloženo je da bude park prirode.

### 4.3. Vransko jezero

Ukupna površina Parka prirode "Vransko jezero" iznosi 57km<sup>2</sup> od čega 30km<sup>2</sup> zauzima samo Vransko jezero te je ono najveće prirodno jezero u Hrvatskoj.

Vransko jezero je jedinstveno močvarno područje na istočnoj obali Jadrana. Ono zoogeografski pripada Sredozemnom potpodručju, i to njegovom dalmatinsko-zagorskom dijelu.



Slika 27 – Karta Vranskog jezera

Smješteno je nedaleko od Biograda, a pruža se paralelno s morskom obalom, odnosno u smjeru od sjeverozapada prema jugoistoku. Jezero je smješteno u neposrednoj blizini mora od kojeg je odijeljeno 800-2500 m vapnenačkim grebenom, čija je najveća nadmorska visina 113 m. Sliv Vranjskog polja i jezera je vrlo značajan krški drenažni sustav u području Ravnih kotara, a površina mu iznosi 494 km<sup>2</sup>. Prostire se od Zemunika, Benkovca i Perušića na sjeveroistoku do Sukošana, Biograda i Pirovca na jugozapadu. Na višim dijelovima sliva nalaze se Nadinsko blato i Polačko polje, u sjeverozapadnom dijelu su smješteni Kulsko-Korlatsko i Benkovačko polje, a u istočnom dijelu je Stankovačko polje.

Vransko jezero je zapravo potopljena plitka aluvijalna ravnica koja predstavlja kriptodepresiju, jer joj je dno 2 m ispod razine mora. S istočne, kopnene strane, omeđuje ga gorska kosa zvana Crna gora, visine 305 m, a sa zapadne strane, tj. uz more gorska kosa koja se uzdiže od Prosike u smjeru sjeverozapada, s vrhovima Modravica i Miličevac. Ona se dijeli na dva kraka: prvi čine Velika i Mala Kurela, a drugi sastavljaju Ujačka, Dubrava, Čelinka i Kostelj. Između ovih krakova prostire se dolina Drage, kroz koju prolazi Jadranska magistrala.



Slika 28 – Zračni snimak Vranskog jezera s južne strane

Sjeverozapadno od jezera nalazi se plodna aluvijalna ravnica Vransko polje u Ravnim Kotarima.

Sliv Vranskog jezera nalazi se na terenu na kojem su pretežno zastupljene karbonatne vapnenačke stijene. Osim vapnenaca iz krede i eocena, razvijeni su i dolomiti iz gornje krede.

Karbonati izgrađuju morfološki istaknute dijelove reljefa, a u krškim poljima i depresijama razvijene su i klastične naslage eocenskog fliša, dok u središnjim dijelovima polja nalazimo i kvartarne naslage.

Vapnenci predstavljaju sredinu u kojoj se odvija infiltracija, tečenje i akumuliranje podzemne vode. Dolomiti imaju funkciju relativnih barijera, dok klastične naslage fliša predstavljaju potpune ili "viseće" barijere tečenju podzemnih voda. Duž rasjeda i oborinskih sustava oborinske vode gotovo trenutno poniru u podzemlje, gdje dolazi do okršavanja karbonatnih stijena što je dovelo do nestanka većine površinskih tokova i istovremenog akumuliranja podzemnih morfoloških oblika.

Samo Vransko jezero je kredne formacije, mjestimično prekriveno numulitskim vapnencem izeocena. Dno mu je prekriveno debelim slojem vapnenastog mulja, koji se i dalje taloži. Uzobalno u istočnom i južnom dijelu jezera nalazi se uski pojas kamenite podloge.

Klima na području sliva Vranskog jezera je tipična mediteranska, odnosno suha i topla, a kišni je režim maritimni. Za ovo područje, kao i za cijeli Mediteran, karakteristično je da su zime relativno hladne i vlažne, a ljeta vruća i suha. Prosječna godišnja količina oborina kreće su u rasponu od 870 do 980 mm. Maksimalna godišnja količina padalina je oko 1 500 mm, a minimalna oko 560 mm. Prosječno godišnje isparavanje iznosi oko 1 403 mm, najmanje je zimi, a najveće u srpnju. Razlika između godišnje količine isparene vode i godišnje količine oborina koje padnu u Vransko jezero predstavlja manjak od 14.538.300 m<sup>2</sup> vode, odnosno 483 mm oborina godišnje. Dnevne temperature zraka iznose od -10°C pa do preko 32°C, najviše su u srpnju (prosječno 24°C), a najniže u siječnju (prosječno 5,6°C). Prosječna godišnja vlažnost zraka iznosi između 66 i 72% s tim da je relativna vlažnost najveća krajem jeseni i tijekom zime, a

najmanja u srpnju. Upravo po tome da se vlažni dio godine podudara sa smanjenim sunčevim intenzitetom, mediteranska je klima jedinstvena u svijetu.

U slivnom području su dominantni i najjači sjeveroistočni vjetrovi, a česti su i jugoistočni. Najslabiji su zapadni, a najrjeđi istočni vjetrovi.

Kako je Vransko jezero najniža točka Ravnokotarske ploče, ono prikuplja površinske vode gotovo polovine Ravnih kotara. Vransko jezero je najveće prirodno jezero u Hrvatskoj. Njegova prosječna širina iznosi oko 22 km, dužina oko 13.6 km, površina između 29.8 i 30.2 km<sup>2</sup>. Razina vode Vranskog jezera ovisi o dotjecanju vode u jezero površinskim i podzemnim putem, izdašnosti izvora u samom jezeru, otjecanju vode iz jezera u podzemnim procjepima i kanalom Prosika (s kojim je povezan i čija je dužina 800 m, širina 4 m, dubina 5-6 m) te o isparavanju vode. Strujanje voda je kondukcijsko, a izraženo je valovima koji za vjetrovita vremena mogu biti veliki i do 1 m. Dubina Vranskog jezera iznosi oko 5 m, a ovisi o vodostaju. Zbog male dubine veći dio jezera je osvijetljen i produktivan, u najdubljim dijelovima dolazi do razgradnje organskih tvari pa je proces eutrofikacije i zatrpavanja jezera ubrzan. Zbog plitkoće je voda jezera podložna naglim promjenama temperature ovisno o temperaturi zraka. Temperatura vode je od 2.9-25.2 °C. Obale jezera su stjenovite i strme, osim na zapadnoj strani, gdje je smješteno Vransko polje.



Slika 29 – Niska obala jezera na strani Vranskog polja

Najvjerojatnije je vransko jezero nastalo podizanjem razine mora nakon posljednjeg ledenog doba, odnosno radi se o mladom jezeru, čija starost ne prelazi 10000 godina.

Voda vranskog jezera po kvaliteti se nalazi na granice oligotrofne i mezotrofne vode.

Mediterska ekoregija se smatra jednim od najvrjednijih, ali i najugroženijih područja u svijetu. mediteranski je okoliš vrlo raznolik i složen. Posebnu vrijednost imaju krške šume, makija i slatkovodni sustavi.

zbog velike zone poplavljanja, kao i zbog biocenoza razvijenih na tom području, poplavni prostor i samo jezero predstavlja prirodnu močvaru. Ona je, uz donji tok neretve, jedina veća močvara u mediteranskom dijelu Hrvatske. Močvare su staništa gdje je voda primarni faktor kontrole okoliša i životnih zajednica.



Slika 30 – Veliki poplavni prostor Vranskog jezera

Priobalna močvarna staništa imaju izuzetnu vrijednost za zaštitu faune kralješnjaka jer uz njih obitava oko 75% riba, 67% vodozemaca, 100% gmazova, 87% ptica i 100%

sisavaca od ukupnog broja koje inače obitavaju uz Jadransku obalu. Zbog toga su priobalna močvarna područja jako vrijedne te ih je potrebno zaštititi. Osim toga, funkcije močvara su zadržavanje vode, ublažavanje poplava, stabilizacija obala i kontrola erozije, pročišćavanje vode, zadržavanje nutrijenata i stabilizacija lokalnih klimatskih obilježja. Izuzetnu važnost na području Vranskog jezera imaju i trščaci. To su biljne zajednice u kojima dominira trska koji uvelike pridonose bioraznolikosti jer čine stanište za mnoge vrste kralješnjaka; ptice, vodozemce, gmazove i sisavce.

Trčćak je u sjeverozapadnom dijelu Vranskog jezera posljednje gnjezilište čaplji i jedino gnjezdište malog vranca u priobalju hrvatske.

Ovo je područje osobito važno i kao odmorište i hranilište mnogim vrstama ptica tijekom njihovih selidbi pa je njegov sjeverozapadni dio proglašen Ornitološkim rezervatom. Za područje Vranskog jezera možemo reći da je "hot-spot" tj. područje s velikom raznolikošću orinofaune te je do sada zabilježeno 241 vrste ptica od kojih se 102 vrste gnijezde u području Parka. Zimi se od oštih sjevernih hladnoća na Vransko jezero skriva 87 vrsta zimovalica, te se za sunčanih zimskih dana na otvorenoj vodi jezera može vidjeti i do 100 000 ptica kako uživaju u blagoj klimi i obilju hrane.

Unutar rezervata obitavaju važne populacije 13 vrsta ptica čije su lokalne populacije s Vranskog jezera važne za stabilnost ukupne populacije na nacionalnom, europskom, globalnom nivou.

Turizam je na području Vranskog jezera iznimno razvijen. Izvori vode, borova šuma i kamp "Crkvine" u Parku pružaju zaštitu i osvježenje u svim prilikama. Kvalitetan odmor i opuštanje naći će športski ribolovci, koji tijekom cijele godine mogu loviti na jezeru i njegovim obalama. Biciklisti imaju dugu biciklističku stazu oko jezera koja prolazi kroz vidikovce koji poprimaju veličanstven splet boja sa aromatskim mirisom divljeg bilja.

Vransko jezero Cup održava se tradicionalno svake godine u lipnju i okuplja mlade natjecatelje u klasi Optimist.



Slika 31 – Jedrenje na Vranskom jezeru

Park prirode "Vransko jezero" je područje koje krije u sebi još mnoge tajne i pravi je izvor novih znanstvenih otkrića koja Park u suradnji sa stručnjacima iz različitih područja nastoji razotkriti i pokazati svijetu.



## 5. SLIČNI BRODOVI

	L (m)	B (m)	D (m)	P (kw)
SAR3000	5,5	2,44	0,17	350
AirRanger 20ft	6,1	2,44	0,18	390
DiamondBack 20ft	6,1	2,44	0,15	350
Canadian Airboats 16ft	5,18	2,44	0,14	312
Panther Airboats 16ft	5,18	2,44	0,15	312
Panther Airboats 18ft	5,5	2,44	0,15	390

Tablica 1 – Značajke sličnih brodova



Slika 32 - SAR3000



Slika 33 – 20 ft AirRanger



Slika 34 - DiamondBack 20ft



Slike 35 i 36 - Canadian Airboats 16ft



Slika 37 - Panther Airboats 16ft



Slika 38 - Panther Airboats 18ft



Slika 39 - Panther Airboats 18ft

Proučavajući dostupne podatke na internetu odabrao sam ovih šest plovila koja najbliže odgovaraju projektnim zahtjevima. Prema odabranim dimenzijama projekta,  $L=6,5\text{m}$ ,  $B=2,4\text{m}$ ,  $H=0,6\text{m}$  napravio sam model trupa u programu Maxsurf iz kojega sam odredio preliminarnu masu oplata.

	masa (kg)
oplata	390
ukrepe	140
motor	250
tank goriva	110
zaštitna konstrukcija	50
oprema	100
vozač	75
korisni teret	1000
$\Sigma$	2115

Tablica 2 – Sve mase (preliminarno)

Masu ukrepljenja odredio sam prema idejnom rješenju konstrukcije s uzdužno ukrepljenim dnom i palubom i poprečnim rebrima razmaka 500 mm.

Masu motora procijenio sam prema masama benzinskih V8 motora koji se koriste za pogon sličnih brodova.

Prema dostupnim podacima prosječna potrošnja pri krstarečkoj brzini kreće se oko 30 litara na sat. Za autonomiju od 3 sata vožnje krstarečom brzinom što iznosi akcijski doseg od približno 200 kilometara odabrao sam rezervoar goriva kapaciteta 110 litara.

Zaštitni kavez sastoji se od čeličnih cijevi i žice i prema procijenjenoj površini i broju cijevnih okvira određena je masa.

U opremu spadaju sjedala, sustav upravljanja s kormilima, električni sustavi i kontrolni sustavi motora.

Najzahtjevniji slučaj opterećenja je zahtijevani prevoz 1000 kg tereta pa je taj slučaj uzet u razmatranje.

## **6. KONSTRUKCIJA**

### **6.1. Općenito**

Dimenzije građevnih elemenata konstrukcije određene su po propisima HRB za gradnju čamaca iz 2004. Glavni materijal je aluminijska slitina AlMg4.5Mn. Građevni elementi su spojeni zavarivanjem MIG impulsnim postupkom.

### **6.2. Opis konstrukcije**

#### **6.2.1. Sustav konstrukcije**

Konstrukcija plovila sa zračnom propulzijom sastoji se od trupa i zaštitnog kaveza unutar kojeg su smješteni motor i propeler. Trup je projektiran u mješovitom sustavu gradnje, ali su rebra gusto postavljena zbog velike brzine plovila.

#### **6.2.2. Opis konstrukcije trupa**

Vanjska ploha trupa sastoji se od uzdužno ukrepljenih oplata dna i palube i poprečno ukrepljenog boka.

Oplata palube i dna debljine je 6mm, a oplata palube 4 mm. Na dnu i na palubi se nalaze flat profili dimenzija danih u proračunu konstrukcije. Bokovi su ukrepljeni poprečnim pregradama koje su oslonac za uzdužno ukrepljenje dna i palube. Pregrade su od lima debljine 4 mm i postavljene su na razmaku od 500 mm. Svaka treća pregrada na razmaku 1500 mm izvedena je kao nepropusna pregrada. Između druge i treće pregrade nalaze se dvije uzdužne pregrade koje čine okvir temelja motora.

#### **6.2.3. Konstrukcija zaštitnog kaveza**

Zaštitni kavez napravljen je od cijevi od nehrđajućeg čelika promjera 3/4 cola i žice od nehrđajućeg čelika promjera 2 mm.

Nosači propelera i konstrukcija stolaca su od istih cijevi od nehrđajućeg čelika.

### 6.3 Dimenzioniranje konstrukcije prema pravilima HRB

#### 6.3.1. Glavne dimenzije

$L_{oa} = 6.5$  m Duljina preko svega, u metrima, u što je uključen gumeni profil i ugrađena oprema trupa, ali bez vanjskog kormila

$T = 0.22$  m Najveći gaz

$B = 2.40$  m Najveća širina trupa, u metrima, mjerena do vanjske strane oplata

$H = 0,575$  m Visina u sredini čamca, u metrima, mjerena od gornjeg ruba razme ili linije palube do donjeg ruba oplata dna

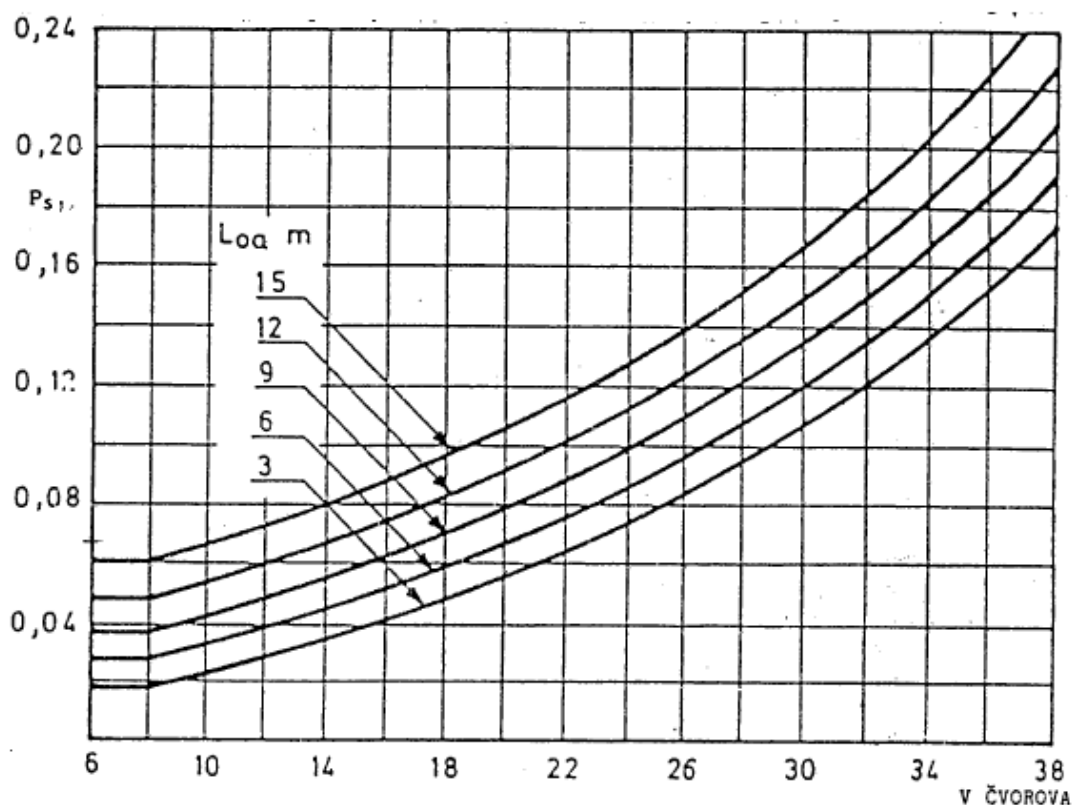
$\Delta = 2300$  kg Najveća masa

$v = 45$  čv Najveća brzina



### 6.3.2. Opterećenja

Koeficijent opterećenja  $p_s$  proračunava se u skladu sa slikom (dijagramom) u točki 2.2.1.2 HRB-a, a temelji se na najvećoj brzini praznog čamca.



Dijagram 1 – ovisnost koeficijenta opterećenja o brzini i duljini brodice

#### 6.3.2.1 Koeficijent opterećenja dna

Zbog brzine plovila izvan područja dijagram ekstrapolacijom je određeno opterećenje dna

$$p_s = 0.26$$

Čamci velikih istisnina i s jakim motorom moraju imati povećane dimenzije, koje se izračunavaju množenjem koeficijenta

opterećenja,  $P_s$ , s koeficijentom ( $k$ ):

$$K = \frac{\Delta \cdot V}{330 \cdot L_{oa}^2 \cdot B^{1,5}} \quad k_{min} = 1,0$$

gdje je:

$\Delta$  = najveća istisnina u kg,

$v$  = najveća brzina pri najvećoj istisnini,

$L_{OA}$  = duljina preko svega, u metrima.

$B$  = širina, u metrima.

Ako ( $k$ ), proračunat pri drugim istisninama i drugim brzinama daje povećane dimenzije, mora sa uzeti taj koeficijent.

$$k = 1.11$$

$$p_s = 0.288$$

#### 6.3.2.2. Koeficijent opterećenja palube

$$p_p = 0.08 \text{ puta opterećenje, u kN/m}^2$$

#### 6.3.2.3. Koeficijent opterećenja bokova trupa

Vrijednost opterećenja bokova trupa kreće se linearno u rasponu od 1.0  $p_s$  do  $p_p$ , pa se za dimenzioniranje konstrukcije uzima aritmetička sredina spomenutih opterećenja.

$$p_b = \frac{p_s + p_p}{2} \quad p_b = 0.184$$

### 6.3.3. Svojstva materijala

Dimenzije aluminijskih čamaca temelje se na materijalima s granicom razvlačenja od  $\delta_{0.2} = 170 \text{ N/mm}^2$ , gdje pri dimenzioniranju zavarenih konstrukcija treba uzeti granicu razvlačenja  $\delta_{0.2}$  za meko stanje materijala.

Svojstva odabranog materijala:

granica razvlačenja	$\delta_{0.2} = 125 \text{ N/mm}^2$
oznaka materijala prema DIN-u:	SG – AlMg4,5 Mn
kemijski sastav (%)	Si = 0.4 Fe = 0.4 Cu = 0.1 Mn = 0.4 – 1.0 Mg = 4.0 – 4.9 Cr = 0.05 – 0.025 Zn = 0.25 Ti = 0.15 Al ostatak

### 6.3.4. Korekcije

#### 6.3.4.1. Faktor korekcije za materijal

$$f_1 = \sqrt{\frac{170}{\delta_{0,2}}} \quad f_1 = 1.166$$

#### 6.3.4.2. Faktor korekcije za materijal ako se računa moment otpora presjeka

$$f_z = \frac{170}{\delta_{0,2}} \quad f_z = 1.36$$

### 6.3.5. Dno, bokovi i paluba

#### 6.3.5.1. Dno

##### 6.3.5.1.1 Opločenje dna

Debljina lima ne smije biti manja od veće vrijednosti dobivene po sljedećim izrazima:

$$s = 300 \text{ mm} \qquad p_s = 0.288 \qquad f_1 = 1.166$$

$$t = 0.03 \cdot f_1 \cdot s \cdot \sqrt{p_s} = 5.63 \text{ mm}$$

$$t = 1.0 + 0.2 \cdot f_1 \cdot L_{OA} = 2.52 \text{ mm}$$

odabire se:  $t = 6 \text{ mm}$

##### 6.3.5.1.2. Ukrepe dna

Minimalni moment otpora presjeka ukrepa dna računa se prema sljedećem izrazu:

$$Z = 1.2 \cdot f_z \cdot s \cdot p_s \cdot \left( \frac{l}{100} \right)^2$$

$s$  – razmak ukrepa

$l$  – nepoduprti raspon ukrepa

$$s = 300 \text{ mm} \qquad l = 500 \text{ mm}$$

$$Z = 1.2 \cdot f_z \cdot s \cdot p_s \cdot \left( \frac{l}{100} \right)^2 = 3525 \text{ mm}^3$$

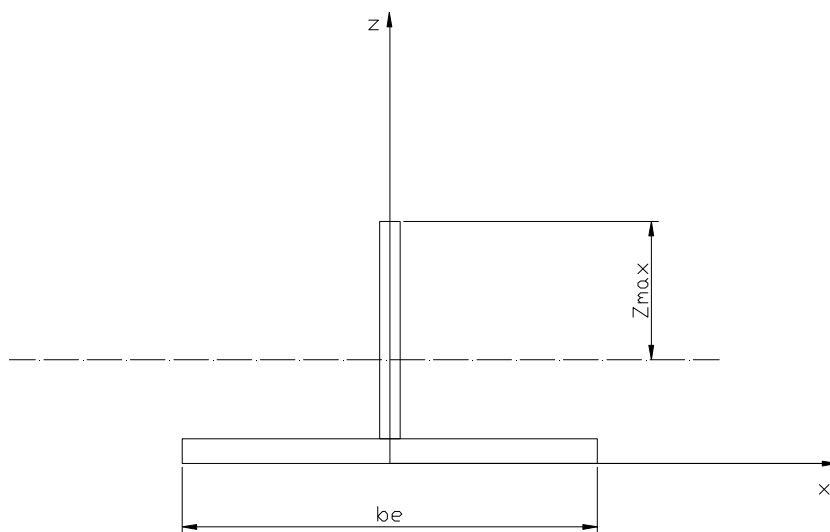
unosiva širina:

$$b_e = s \cdot \left[ 1 - \left( \frac{7 - \frac{l}{s}}{7} \right)^3 \right]$$

$$b_e = 167.3 \text{ mm}$$

$s$ (mm)	$h$ (mm)	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$z$ (mm)	$A \cdot z$ (mm <sup>3</sup> )	$A \cdot z^2$ (mm <sup>4</sup> )	$I_1$ (mm <sup>4</sup> )
167	4	668	2	1336	2672	890,667
4	60	240	34	8160	277440	72000
	$\Sigma$	908	$\Sigma$	9496	280112	72890,7

$\eta$	$l$	$z_{max}$	$W$
10,45	253690	53,54	4738



odabire se flat profil 60x4

Uzdužnjaci se oslanjaju na poprečne pregrade postavljene na razmacima od 500mm. Svaka treća pregrada je izvedena kao nepropusna i na njima se uzdužnjaci prekidaju. Na nepropusnim pregradama su ukrepe koje povezuju uzdužnjake palube i dna.

### 6.3.5.2. Bok

#### 6.3.5.2.1. Opločenje boka

Debljina lima ne smije biti manja od veće vrijednosti dobivene po sljedećim izrazima:

$$s = 500 \text{ mm}$$

$$p_b = 0.184$$

$$t = 0.022 \cdot f_1 \cdot s \cdot \sqrt{p_b}$$

$$t = 5.5 \text{ mm}$$

$$t = 0.8 + 0.2 \cdot f_1 \cdot L_{OA}$$

$$t = 2.3 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

#### 6.3.5.2.2. Ukrepe boka

Bokovi su ukrepljeni poprečnim pregradama na svakom rebru, razmak je 500 mm.

### 6.3.5.3. Paluba

#### 6.3.5.3.1. Opločenje palube

Debljina lima ne smije biti manja od veće vrijednosti dobivene po sljedećim izrazima:

$$s = 300 \text{ mm}$$

$$p_b = 0.08$$

$$t = 0.024 \cdot f_1 \cdot s \cdot \sqrt{p_p}$$

$$t = 2.37 \text{ mm}$$

$$t = 0.8 + 0.2 \cdot f_1 \cdot L_{OA}$$

$$t = 2.31 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

#### 6.3.5.3.2. Uzdužnjaci palube

$$s = 300 \text{ mm}$$

$$l = 500 \text{ mm}$$

$$Z = f_z \cdot s \cdot p_p \cdot \left( \frac{l}{100} \right)^2 = 816 \text{ mm}^3$$

Odabire se flat profili 60x4



## 7. OPĆENITO O ALUMINIJU U BRODOGRADNJI

Aluminijske legure su se dokazale korištenjem u brodogradnji kao pogodan konstrukcijski materijal jer nude sigurnost i pouzdanost u okruženju koje djeluje na materijale izložene naprezanju.

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 aluminijske legure u brodogradnji i u ostalim pomorskim primjenama je omogućeno kada su 40-ih proizvođači aluminijske legure 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. Smanjeno održavanje može dovesti do značajnih ušteda jer dokovanje postaje praktički nepotrebno, osim zbog čišćenja trupa od obrastanja. Oprema napravljena od aluminijske legure također zadržava dobra svojstva dugo vremena, zadobivajući patinu koja se dobro uklapa sa okolinom i koja ne kvari opći izgled.

Aluminij je metal gustoće  $2700 \text{ kg/m}^3$ . U usporedbi sa čelikom konstrukcija od aluminijske legure 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 aluminijske legure i raste s veličinom čamca. U ovom slučaju, kod duljine plovila od 6,5 m prednost aluminijske legure

pred stakloplastikom nije toliko u masi konstrukcije koliko u čvrstoći i posebno otpornosti trošenju.

Mala gustoća aluminijske legure ima dvije direktne prednosti:

za vrijeme proizvodnje, težina aluminijske legure u mnogome pomaže pri rukovanju sa poluproizvodima u tvornici, tako da otpada uporaba teških dizalica;

u službi, aluminijski čamci su lakši nego slični od čelika ili stakloplastike, brži su za istu snagu motora i imaju veću energetske iskoristivost kod većih brzina.

Prednosti se mogu i povećati, optimizirajući 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 crtačkim metodama koji su omogućili proizvodnju u segmentima kao što je rezanje okvira i automatizaciju odgovarajućih operacija zavarivanja.

## 8. TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA ALUMINIJA

### 8.1. Tehnološka svojstva

Osnovni materijal za gradnju ovog plovila reže se isključivo na hladno, tračnim, cirkular ili ubodnim pilama. Strojna obrada te bušenje rupa radi se alatom prilagođenim za aluminij.

Savijanje i oblikovanje limova, cijevi, profila i šipki radi se na hladno u prešama ili savijačicama s kritičnim radijusima:

$R_{\text{kritično za limove}} = 5 \times \text{debljina lima}$

$R_{\text{kritično za cijevi}} = 35 - 140 \text{ mm}$  za debljinu stijenki 1.0 mm i više

### 8.2. Dodatni materijal za zavarivanje

Za zavarivanje MIG, MIG – impulsnim i TIG postupkom koriste se slijedeće žice i šipke:

Oznake materijala prema			Dodatni materijal za zavarivanje
	EN 573	EN 573	Promjer u mm
žica	S.AG-5356 ili S.AG-5083	S-ALMg5 ili S-ALMg4.5Mn	$\phi 1.0$ i $\phi 1.2$
šipka	S.AG-5356 ili S.AG-5083	S-ALMg5 ili S-ALMg4.5Mn	$\phi 3.2$ i $\phi 4.0$

Tablica 3 – žice i šipke za zavarivanje

### **8.3. Postupci zavarivanja**

Za zavarivanje aluminijske konstrukcije koriste se MIG, MIG – impulsni i TIG postupak.

MIG postupak zavarivanja koristi se kod zavarivanja debelostijenih dijelova (limova) i profila 8,10 i više mm, gdje imamo više prolaza, odnosno kao korijenski zavar (štrcajući luk).

MIG – impulsni postupak se primjenjuje kao drugi prolaz kod debljih stijenki i na ostaloj konstrukciji

TIG postupak se koristi na mjestima gdje radi nepristupačnosti nije moguće primijeniti prethodna dva postupka, a bez dodatnog materijala i kao izvor topline za ravanje konstrukcije.

### **8.4. Parametri zavarivanja**

Parametri zavarivanja ovise o vrsti spoja, broju prolaza i debljini osnovnog materijala i moraju se utvrditi tijekom atestacije postupka za svaku vrstu spoja i debljinu, te potvrditi njihovu kvalitetu mehaničkim ispitivanjem produženih ploča (epruveta).

### **8.5. Čišćenje rubova**

Rubovi se radi nataloženog oksida, koji otežava zavarivanje, četkaju rotacionim četkama od nehrđajućeg čelika.

### **8.6. Pripajanje elemenata**

Pri montaži elemenata prije zavarivanja izvodi se pripajanje, čime se zadržava željeni oblik konstrukcije te smanjuju deformacije uvjetovane zavarivanjem. Pripajanje se izvodi istim dodatnim materijalom i istim postupkom kao kod zavarivanja. Paljenje luka pri pripajanju izvodi se u žlijebu ili produžnim pločicama. Na krajevima limova postavljaju se jači pripoji dužine 50 – 60 mm.

## **8.7. Atesti izvođača radova**

Poduzeće koje se bavi izradom zavarenih konstrukcija mora imati atest za izvođenje zavarivačkih radova te kontrole zavarivanja prema važećim danim standardima i zakonu o zaštiti na radu.

Zavarivači moraju biti atestirani za konkretni osnovni i dodatni materijal, postupak zavarivanja i za tri osnovna postupka zavarivanja.

Atestiran mora biti i sam postupak, izradom ispitnih ploča te ispitivanjem mehaničkih osobina zavara variranjem parametara zavarivanja.

Također mora biti atestiran i zaštitni plin u ovom slučaju argon (Ar) koji mora biti "C" kvalitete.

## **8.8. Način i redoslijed zavarivanja**

### **8.8.1. Sučeljeni spojevi**

Prvi sloj zavara (korijenski) treba zavariti povratnim korakom na strani suprotnoj od pripoja s dužinom koraka:

za lim debljine do 5 mm	500 mm
za lim debljine do 10 mm	400 mm

Drugi sloj se nanosi nakon čišćenja korijena s povratnim korakom s druge strane, ali u suprotnom smjeru. Pri tom se početni zavar izvodi duže za pola koraka kako se nastavci korijenskog i suprotnog zavara ne bi poklopili.

Za limove od 10 mm zavaruje se korijenski i suprotni zavar do popune žlijeba pri čemu se vodi računa o promjeni smjera.

### **8.8.2. Kutni spojevi**

Kutnim se spojevima zavaruju svi dijelovi krutosti i oplata međusobno, rebra, ukrepe, pregrade i dr.

### **8.8.3. Zavarivanje sekcije dna i bokova**

Zavarivanje sekcija dna i bokova izvodi se u kolijevci. Prvo se postavljaju limovi dna koji se zavaruju MIG – impulsnim postupkom. Na njih se pozicioniraju i zavaruju uzdužni flat profili. Nakon toga se pozicioniraju poprečne pregrade i privaruju se. Nakon toga se postavljaju bokovi i zrcala te privaruju. Nakon toga zavaruje se unutarnji zavar bokova i zrcala te pune kutni zavari poprečnih pregrada. Zavarivanje se vrši od sredine trupa ka pramcu i krmi te od sredine prema bokovima. Nakon ovoga na pregrade se postavljaju i zavaruju uzdužnjaci palube. Limovi palube se postavljaju pojedinačno i iznutra se zavaruju za uzdužnjake i pregrade što je nezgodno zbog vrlo ograničenog prostora. Nakon završetka tih operacije trup se okreće te se limovi dna i bokova zavaruju izvana.

### **8.8.4 Ravnanje**

Efikasno ukrućivanje (ravnanje) zavarene konstrukcije od Al – legura zahtijeva poznavanje i iskustvo u ravanju, a specifično za svaku plohu.

Grijanje se izvodi TIG ili TIG – impulsnim postupkom zavarivanja s elektrodom na pozitivnom polu bez dodatnog materijala.

Mogu se dobiti različite karakteristike zagrijane zone koje u principu možemo podijeliti u dvije grupe:

#### **1. Kratko vrijeme grijanja**

Oplata se grije dok površina ne dostigne temperaturu od 200 – 250°C što ovisi o debljini grijane plohe. Kada se postigne znatna temperaturna razlika između površine i unutrašnjosti lima (unutrašnjost zadržava čvrstoću), toplina utječe na ravnanje plohe toplinskim naprezanjem.

Ovaj način ravanja se uvijek radi sa konveksne strane.

#### **2. Dugo vrijeme grijanja – progrijavanje**

Ako se grije duže vrijeme temperatura na površini stabilizira se na oko 300 – 370°C dok toplina prolazi kroz cijeli presjek materijala i temperaturna razlika je mala.

Ovakav postupak dovodi do toplinske deformacije na obje strane lima, a rezultat je vidljiv u skupljanju (zadebljanju) u lokalnoj grijanoj zoni.

Progrijavanje se koristi uvijek blizu ukrućenja, a može se koristiti i za pozitivna i za negativna izbočenja.

Ravnanje se ne postiže s daljnjim potiskivanjem izbočine, već skupljanjem lima pri čemu se stvaraju izbočine na drugom mjestu.

Progrijavanje se koristi najviše za limove debljine od 4 do 10 mm.

Postoje dva faktora koji uzrokuju deformaciju u zoni grijanja i ravnanja tijekom hlađenja:

1. Lokalno temperaturno širenje u zoni grijanja
2. Napetosti u zavarenoj konstrukciji (oplati) koja se javljaju u zoni grijanja (lim oslabljuje mehanički dok je zona zagrijana)

Radi boljeg ravnanja obuhvaća se što veća površina, s time da se površine s manjim izbočenjima ravnaju prve

Ravni limovi mogu sadržavati veće zaostale napetosti od zakrivljenih. Najveće napetosti se obično nalaze u površinama s manjim izbočinama. Zato da bi se postigao najbolji efekt ove se površine ravnaju prve.

Da bi postigli što efikasnije sakupljanje, lim treba vratiti u pravu poziciju uz pomoć pomoćnih naprava prije grijanja. One se koriste tako da mehanički potisnu izbočinu na točnu poziciju. Pri širokim izbočinama takve naprave omogućavaju da se neravnina ispravi sa samo jednom zonom grijanja.

Kada se lim grije širi se, a izbočina postaje veća, te se zato lim mora hladiti prije slijedećeg grijanja. Ovo je važno kada se grije van područja izbočina.

Postoje tri vrste izbočina:

1. Umjerene izbočine (5 – 8 mm)
2. Široke izbočine (9 – 12 mm)
3. Jako široke izbočine (više od 13 mm)

Grije se odmah iznad ukrućenja, dužina zone grijanja( ovisno o izabranom liku) je između 160 i 170 mm. Udaljenost među likovima je 70 – 100 mm.

Vrijeme grijanja je kratko, nastoji se što je moguće brže napraviti lik, da ne dođe do taljenja površine (maksimalno 15 sekundi za lim od 8 mm). Potrebno je svaku plohu koja se ravna razmatrati posebno, ucrtati mjesta gdje i kako grijati pa tek onda izvršiti grijanje kako bi se izbjegla ponavljanja. Za manje debljine lima dužina grijanja se smanjuje linearno.



## 9. PROPULZIJA

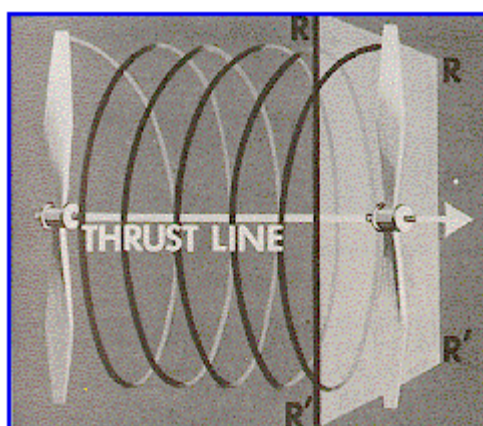
### 9.1. Aerodinamičke i konstruktivne karakteristike propelera

Propeleri se dijele na vučne i potiskujuće s obzirom na smještaj u odnosu na pogonsku grupu, a prema smjeru vrtnje na desne i lijeve. Prema broju krakova propeleri mogu biti dvokrake, trokrake i višekrake. U primjeni su uobičajene dvokraki propeleri za manje snage, a za srednje i velike snage trokrake i četverokrake.

Presjeci kraka propelera sa koaksijalnim cilindričnim površinama čije se osi poklapaju sa osi okretanja daju lokalne aeroprofile kraka propelera. Kako je širina kraka propelera mala u odnosu na promjer pa se poprečni presjeci sa koaksijalnim površinama zamjenjuju ravnim cilindričnim površinama u točkama prodora osi kraka. Ovako dobiveni poprečni presjeci predstavljaju evolutive aeroprofile jedne serije aeroprofila u kojoj je promjenljiv parametar maksimalna relativna debljina aeroprofila.

Geometrijsko mjesto težišta lokalnih aeroprofila određuje težišnu ili neutralnu liniju kraka propelera. Kut  $\theta$  između usvojene tetive lokalnog aeroprofila i ravnine okretanja zove se lokalni konstruktivni nagibni kut kraka propelera, a  $H = 2\pi r \tan \theta$  konstruktivni ili geometrijski korak propelera.

Iz ove jednadžbe vidi se da je konstruktivni korak propelera zapravo hod zavojne ili helikoidalne linije koju opisuje bilo koja točka lokalnog presjeka na odgovarajućoj cilindričnoj površini promjera R.



Slika 40 – Helikoidalna linija kretanja propelera

Odnos  $h = H/D$ , gdje je  $D$  promjer propelera, zove se relativni ili specifični konstruktivni korak propelera.

Ako je poznata vrijednost konstruktivnog koraka za svaki presjek tada jednadžba

$\theta = \arctg(H/2r\pi)$  određuje zakon promjene konstruktivnog nagibnog kuta duž kraka propelera. Konstruktivni korak duž kraka može imati istu ili različitu vrijednost pa se prema tome propeleri dijele na one s konstantnim i promjenljivim korakom duž kraka. U slučaju promjenljivog koraka uvodi se, kao karakteristika konstruktivnog koraka propelera, konstruktivni korak  $H_0 = 0,75\pi D \operatorname{tg} \theta$  na udaljenosti  $0,75R$  od osi okretanja i naziva se nominalni konstruktivni korak propelera, a konstruktivni nagibni kut  $\theta = \arctg(0,424H_0/D)$  nominalni konstruktivni nagibni kut koji mu odgovara.

Propeler je određen geometrijski ili konstruktivno kada je poznata težišna linija kraka i zakon promjene relativne širine  $l/D$ , relativne debljine  $d/l$  i relativnog koraka  $h = H/D$ .

Ako je  $v$  translatorska brzina u pravcu osi okretanja, a  $n$  broj okretanja u jedinici vremena, tada odnos  $H_a = v/n$  određuje hod u pravcu osi okretanja za jedan okret propelera i zove se aerodinamički korak propelera, a kut  $\varphi$  između pravca rezultirajuće brzine i ravnine okretanja koji se određuje jednadžbom  $\varphi = \arctg(v/2\pi r)$  daje lokalni aerodinamički nagibni kut propelera.

Razlika između konstruktivnog i aerodinamičkog nagibnog kuta lokalnog aeroprofila određuje lokalni napadni kut  $\alpha = \theta - \varphi$ .

Promjenom režima rada, tj. promjenom  $v$  i  $n$  mijenja se i zakon promjene napadnih kutova duž kraka i dolazi do odstupanja od optimalnog režima rada.

Skup propelera u kojemu se samo pojedine konstruktivne veličine mijenjaju po određenim zakonima čine seriju propelera. U praksi je uobičajeno da se za promjenljivi parametar serije propelera usvaja nominalni relativni korak  $h = H/D$ , odnosno nominalni konstruktivni nagibni kut  $\theta$ .

Pretpostavimo da se propeler kreće kroz idealni fluid koji je određen gustoćom  $\rho$ . Neka je promjer propelera  $D$ , broj okretanja  $n$ , translatorska brzina u pravcu osi okretanja  $v$ , a  $k$  parametar koji određuje oblik propelera. Vučna (porivna) sila i snaga bit će funkcije sljedećih varijabli

$$T = f_1(\rho, n, D, v, k) \quad \text{i} \quad P = f_2(\rho, n, D, v, k)$$

Iz ovih jednadžbi se dimenzijskom analizom dolazi do izraza za poriv i snagu

$$T = \rho n^2 D^4 \sum A_n \left( \frac{v}{nD} \right)^p k^q$$

$$P = \rho n^3 D^5 \sum B_n \left( \frac{v}{nD} \right)^p k^q$$

Kako su  $p$  i  $q$  potpuno proizvoljni izložitelji, a  $A_n$  i  $B_n$  proizvoljni koeficijenti sume za geometrijski slične propelere predstavljaju funkcije odnosa  $v/nD$ .

Za određene vrijednosti  $k$  i  $v/nD$ , odnosno za sve geometrijski slične propelere i slične režime rada, odnos  $T / \rho n^2 D^4$ , odnosno  $P / \rho n^3 D^5$ , ima konstantnu vrijednost i zove se Newton-ov broj.

Ako se u gornje jednadžbe uvrsti da je

$$\sum A_n \left( \frac{v}{nD} \right)^p k^q = C_T \quad \text{i} \quad \sum B_n \left( \frac{v}{nD} \right)^p k^q = C_P$$

vodeći računa da su  $C_T$  i  $C_P$  funkcije odnosa

$$\gamma = \frac{v}{nD}$$

koji se zove koeficijent rada propelera, jednadžbe postaju

$$T = C_T \rho n^2 D^4 \quad \text{i} \quad P = C_P \rho n^3 D^5$$

Izvedene jednadžbe poznate su pod imenom Renard-ove jednadžbe.

Bezdimenzionalni izrazi  $C_T$  i  $C_P$  zovu se aerodinamički koeficijenti propelera.

Koeficijent  $C_T$  predstavlja koeficijent vučne ili potiskujuće sile, a  $C_P$  koeficijent snage.

Odnos rada propelera  $Tv$  i snage  $P$  koju apsorbira daje koeficijent korisnosti propelera

$$\eta = \frac{vT}{P}$$

ili

$$\eta = \frac{C_T}{C_P} \gamma$$

Kako koeficijenti  $C_T$  i  $C_P$  za jedan određeni propeler zavise o koeficijentu rada  $\gamma$ , tako će i koeficijent korisnosti propelera biti funkcija od  $\gamma$ .

$$\eta = f(\gamma)$$

Aerodinamički koeficijenti propelera određuju se eksperimentalnim putem i daju se u obliku tabelarnih vrijednosti i dijagrama za tehničke primjene.

Renard-ove jednadžbe omogućuju da se za bilo koji režim rada  $\gamma = v/nD$  propelera određenog promjera odrede vučna sila, snaga koju pri tome apsorbira i koeficijent korisnosti  $\eta$ , ako su poznate vrijednosti aerodinamičkih koeficijenata  $C_T$  i  $C_P$  u zavisnosti od  $\eta$ .

Izbor propelera za primjenu izvan zrakoplovstva može se izvršiti analogno općem postupku uzimajući u obzir jednadžbe kretanja. Međutim, kako su brzine u drugim primjenama male u odnosu na zrakoplovne, propeler radi pri malim vrijednostima koeficijenta  $v/nD$ , tako da se pri izboru postavljaju uglavnom uvjeti optimalne vučne (porivne) sile pri  $v/nD \approx 0$  za datu raspoloživu snagu, broj okretaja i promjer.

Eliminacija promjera ili broja okretaja iz Renard-ovih jednadžbi daje zavisnosti

$$\frac{C_T^{5/4}}{C_P} = \frac{T}{P} \sqrt[4]{\frac{n^2 T}{\rho}} \quad \text{za poznati broj okretaja}$$

$$\frac{C_T^{3/2}}{C_P} = \frac{T}{P} \sqrt{\frac{T}{\rho D^2}} \quad \text{za unapred određeni promjer propelera}$$

koje pokazuju da se maksimalna vučna sila za datu snagu motora i zadani broj okretaja ili promjer dobija pri odgovarajućim maksimalnim vrijednostima odnosa aerodinamičnih koeficijenata  $C_T^{5/4}/C_P$  i  $C_T^{3/2}/C_P$ . Kako aerodinamički koeficijenti  $C_T$  i  $C_P$  za određenu seriju propelera, za  $v/nD = 0$  zavise jedino od nominalnog konstruktivnog nagibnog kuta  $\theta$ , pa će o njemu ovisiti i vrijednosti odnosa  $C_T^{5/4}/C_P$  i  $C_T^{3/2}/C_P$ . Prema tome ako su poznate zavisnosti  $C_T = f(\theta)$  i  $C_P = f(\theta)$  određene serije propelera za režim rada na mjestu, moguće je odrediti i ostale zavisnosti potrebne za proračun.

## 9.2. Odabir propelera i motora

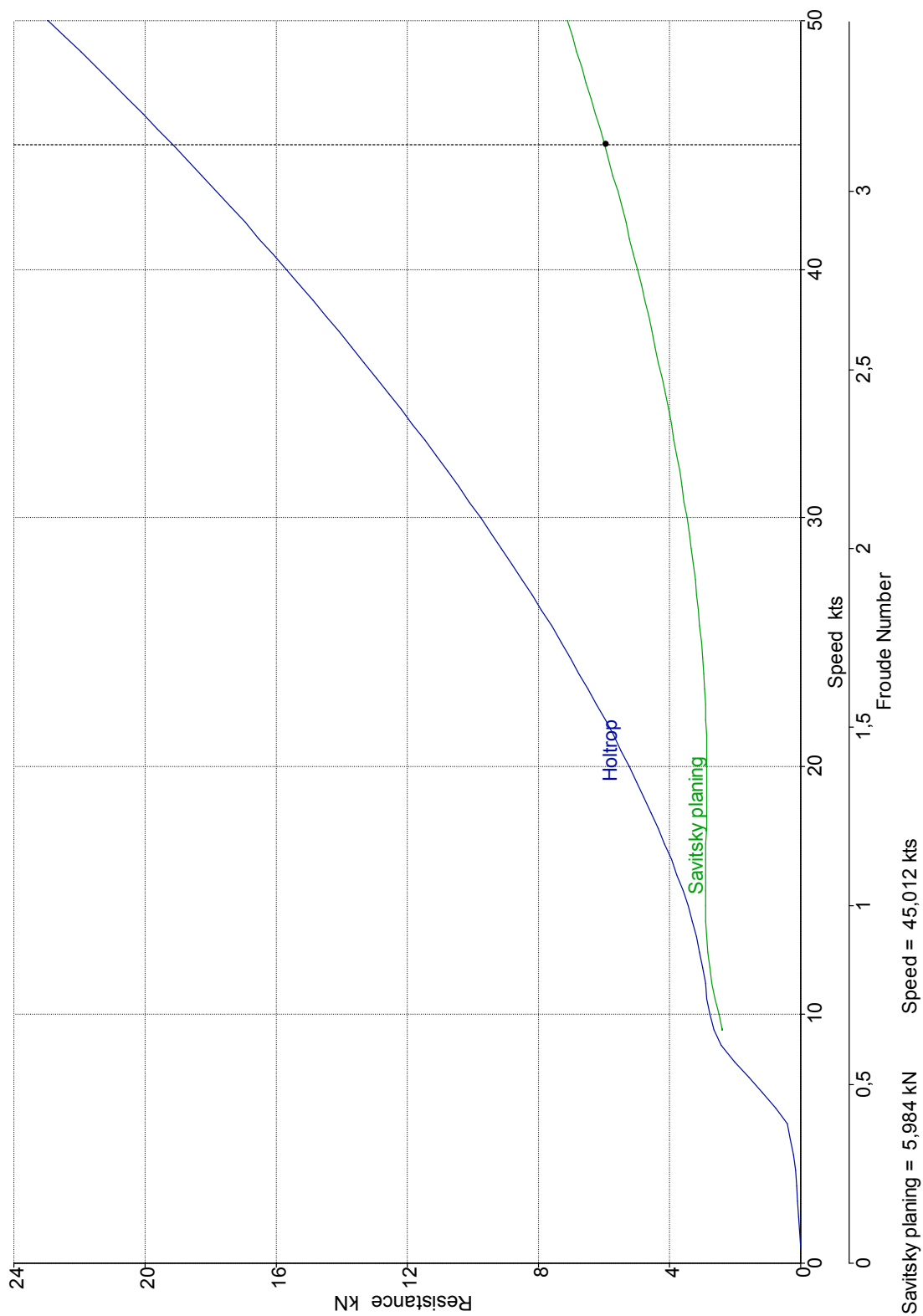
Model trupa napravljen u programu maxsurf iskoristio sam za prognozu sile otpora u modulu Hullspeed. Program nudi više metoda određivanja otpora pa sam kao najprimjereniju odabrao metodu Savitsky–planing za plovila u glisiranju i za usporedbu sam stavio još metodu Holtrop koja se koristi za deplasmanska plovila. Odabrao sam gaz od 0,22m koji je nešto veći od preliminarnog i odgovara ukupnoj istisnini od 2320 kg.

			Savitsky	Holtrop
LWL	5,576	m	5,576	5,576 (low)
Beam	2,273	m	2,273	2,273 (high)
Draft	0,22	m	--	0,22 (low)
Displaced volume	2,266	m <sup>3</sup>	2,266	2,266
Wetted area	14,082	m <sup>2</sup>	--	14,082
Prismatic coeff.	0,828		--	0,828
Waterplane area coeff.	0,969		--	0,969
1/2 angle of entrance	0,72	deg.	--	0,72
LCG from midships(+ve for'd)	-0,218	m	-0,218	-0,218
Transom area	0,059	m <sup>2</sup>	--	0,059
Max sectional area	0,491	m <sup>2</sup>	--	--
Bulb transverse area	0,006	m <sup>2</sup>	--	0,006
Bulb height from keel	0	m	--	0
Draft at FP	0,22	m	--	0,22
Deadrise at 50% LWL	0	deg.	0	--
Hard chine or Round bilge	Round bilge		--	--
Frontal Area	0	m <sup>2</sup>		
Headwind	0	kts		
Drag Coefficient	0			
Air density	0,001	tonne/m <sup>3</sup>		
Appendage Area	0	m <sup>2</sup>		
Nominal App. length	0	m		
Appendage Factor	1			
Correlation allow.	0,0004			
Kinematic viscosity	1,1883E-06	m <sup>2</sup> /s		
Water Density	1,026	tonne/m <sup>3</sup>		

Tablica 4 – Osnovni podatci programa Hullspeed

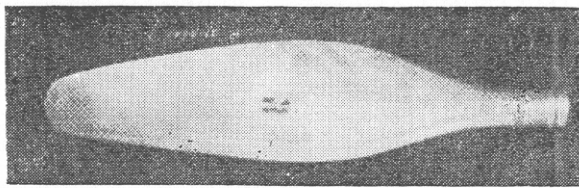
Speed (kn)	R Savitsky (kN)	P <sub>R</sub> Savitsky (kw)	R Holtrop (kN)	P <sub>R</sub> Holtrop (kw)
0,00	--	--	--	--
1,25	--	--	0,02	0,02
2,50	--	--	0,08	0,11
3,75	--	--	0,17	0,33
5,00	--	--	0,32	0,83
6,25	--	--	0,75	2,43
7,50	--	--	1,57	6,07
8,75	--	--	2,42	10,91
10,00	2,5	12,86	2,78	14,3
11,25	2,7	15,63	2,91	16,85
12,50	2,83	18,23	3,07	19,75
13,75	2,9	20,5	3,3	23,37
15,00	2,91	22,46	3,6	27,8
16,25	2,9	24,22	3,95	33,04
17,50	2,88	25,9	4,34	39,12
18,75	2,86	27,61	4,77	46,03
20,00	2,86	29,44	5,23	53,81
21,25	2,88	31,44	5,71	62,47
22,50	2,91	33,68	6,22	72,05
23,75	2,96	36,19	6,76	82,59
25,00	3,03	38,99	7,32	94,11
26,25	3,12	42,11	7,9	106,65
27,50	3,22	45,57	8,5	120,24
28,75	3,34	49,4	9,12	134,94
30,00	3,47	53,6	9,77	150,76
31,25	3,62	58,19	10,43	167,76
32,50	3,78	63,19	11,12	185,96
33,75	3,95	68,62	11,83	205,42
35,00	4,14	74,47	12,56	226,17
36,25	4,33	80,77	13,31	248,25
37,50	4,54	87,53	14,08	271,69
38,75	4,75	94,77	14,88	296,55
40,00	4,98	102,48	15,69	322,85
41,25	5,22	110,7	16,52	350,64
42,50	5,46	119,43	17,38	379,96
43,75	5,72	128,68	18,25	410,85
45,00	5,98	138,47	19,15	443,35
46,25	6,25	148,81	20,07	477,49
47,50	6,54	159,7	21,01	513,32
48,75	6,83	171,17	21,97	550,88
50,00	7,12	183,23	22,95	590,21

Tablica 5 – Izlazni podatci programa Hullspeed

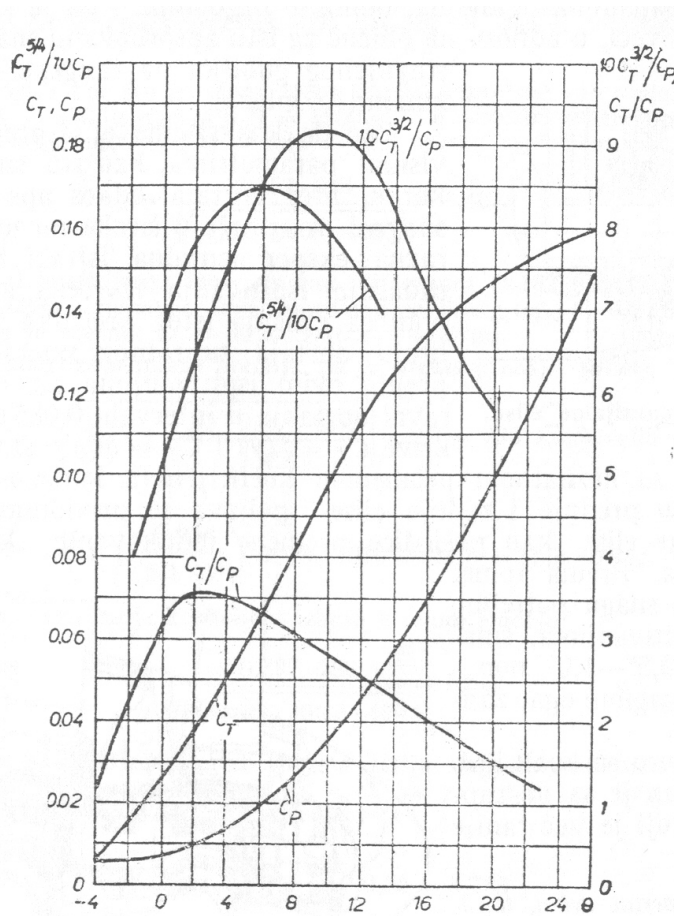


Dijagram 2 – Odnos brzine i otpora

Odlučio sam odrediti pogonski par motor – propeler za maksimalnu brzinu od 45 čv i putnu od 40 čv. Uz poznavanje sile otpora i maksimalnog ugradivog promjera propelera od 2 m prvo je trebalo odabrati propeler. Proučavanjem serija propelera odabrao sam seriju četverokrakih propelera BA 5868-9 koji se temelje na obliku kraka aeroprofila RAF-6 (Sl.). Pomoću dijagrama zavisnosti  $C_T = f(\theta)$  i  $C_P = f(\theta)$  (Sl.) za režim rada na mjestu odabrane serije propelera i poznatih parametara izvršio sam proračun potrebne brzine vrtnje i snage koju treba isporučiti propeleru.



Slika 41 - Oblik kraka aeroprofila RAF-6



Dijagram 3 - Zavisnosti aerodinamičkih koeficijenata za rad u mjestu



Za brzinu  $v = 45$  čv sila otpora je  $F_R = 6000$  N

Za brzinu  $v = 40$  čv sila otpora je  $F_R = 5000$  N

$v$ (čv)	45			40		
$F_R$ (N)	6000			5000		
$P_R$ (kw)	138,5			102,5		
$\theta$ (°)	10	15	18	10	15	18
$C_T$	0,1	0,13	0,142	0,1	0,13	0,142
$C_p$	0,034	0,064	0,084	0,034	0,064	0,084
$n$ ( o/s)	56,5	49,0	46,9	51,5	44,8	42,8
$n$ ( o/min)	3388,2	2941,7	2814,7	3092,9	2685,4	2569,5
$P$ (kw)	230,6	275,5	331,5	175,4	220,6	252,1
$\eta_{\text{propelera}}$	0,59	0,51	0,42	0,58	0,49	0,41

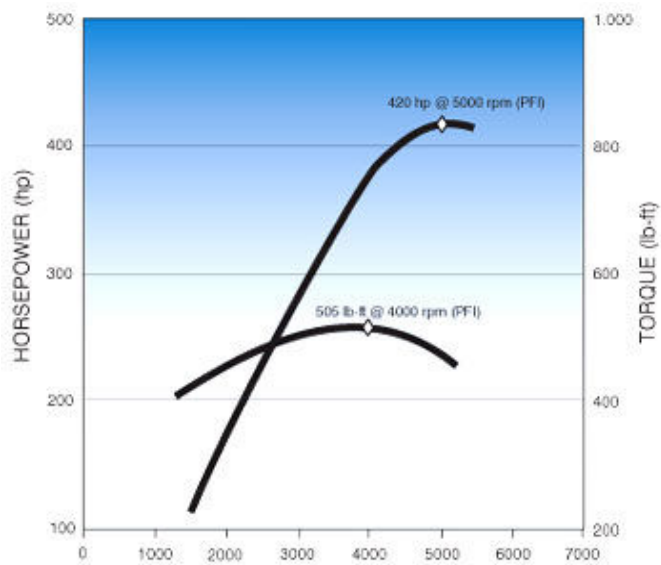
Tablica 6 - Izračun značajki propulzije

U proračun je prvo uvrštena vrijednost konstruktivnog nagibnog kuta kod kojeg odnos  $C_T^{3/2} / C_p$  ima najveću vrijednost jer je tada najveći stupanj korisnosti propelera. Vrh propelera promjera 2 m dostiže brzinu zvuka malo iznad 3000 o/min i u tom području se značajno povećava buka koju proizvodi. Zbog toga su u razmatranje uzeti i veći konstruktivni nagibni kutevi kod kojih nije optimalna iskoristivost predane snage, ali se značajno doprinosi komforu upotrebe plovila.

Odabran je konstruktivni nagibni kut  $\theta = 15^\circ$  koji kod 2942 o/min apsorbira snagu od 275,5 kw. Uz gubitke remenskog prenosa i ležajeva vratila propelera od 5%, potrebna snaga motora iznosi 290 kw.

Odabran je marinizirani automobilski motor GM Vortec 8100 koji razvija maksimalnu snagu od 311 kw kod 5000 o/min (Sl. ). Motor je benzinski V8 radnog obujma 8,1 l. Traženu snagu od 390 HP motor razvija kod 4200 o/min, pa se remenski prenos izvodi s redukcijским omjerom 1,3:1.

Kod putne brzine motor radi s 3500 o/min. Masa motora je 270 kg.

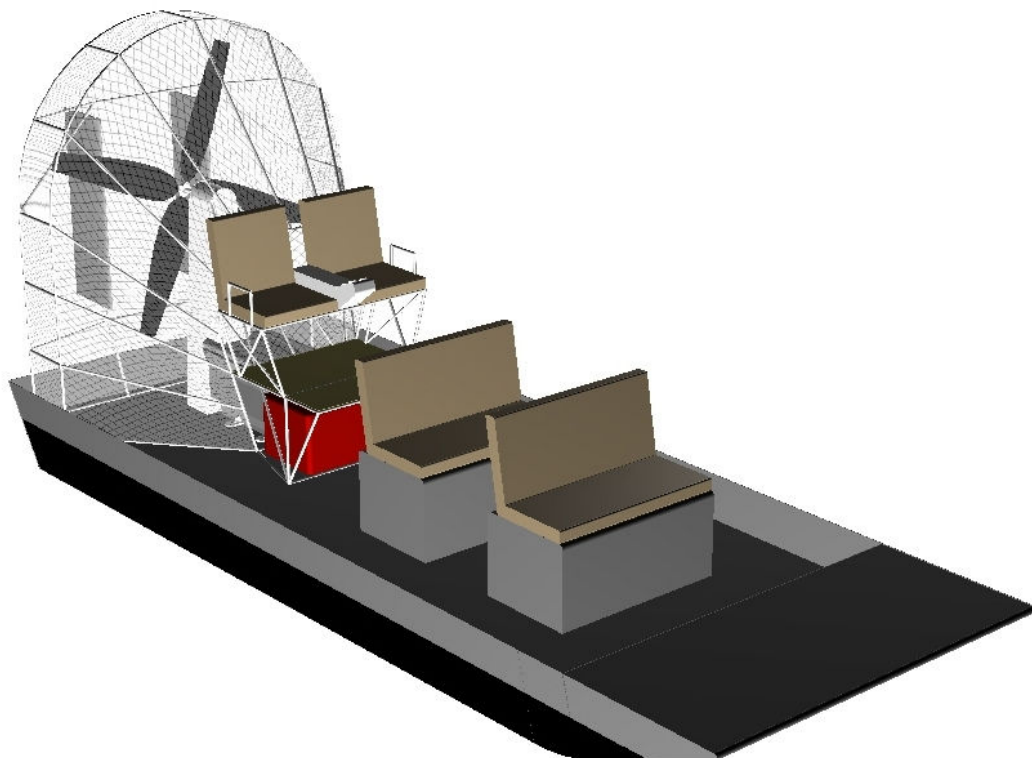


Dijagram 4 - Radna karakteristika motora GM Vortec 8100

Potrošnja ovog motora pri putnoj brzini kreće se oko 30 l/h i usvojen je tank goriva od 110 l koji omogućava autonomiju od preko 200 kilometara.

## 9. PROVJERA MASA I STABILNOSTI

Nakon što su odabrani i definirani svi elementi plovila pomoću modela u programu Rhinoceros određena je masa lakog broda i njegovo težište.



Slika 42 – 3D model plovila sa zračnom propulzijom

$$m_{LS} = 1210 \text{ kg}$$

$$LCG = 2,198 \text{ m}$$

$$TCG = 0 \text{ m}$$

$$VCG = 0,618 \text{ m}$$

Za slučaj najvećeg projektnog opterećenja, prevoza 1000 kg tereta ukupna masa iznosi: - masa lakog broda 1210 kg

- masa vozača 80 kg

- masa tereta 1000 kg

Ukupna masa 2290 kg

Ovisno o konfiguraciji tereta predviđeno je ili slaganje oko klupa ili ako to nije moguće sjedala na klupama se mogu preklopiti i teret sjeda na njih. Uzmimo u promatranje slučaj da je teret osiguran na klupama sa spuštenim sjedalima.

Težište tereta je:  $X_T = 3,7$  m

$Y_T = 0$  m

$Z_T = 1,3$  m

Izlazni podatci ravnotežnog stanja nalaze se u izlaznoj tabeli programa Hydromax

Draft Amidsh. m	0,217
Displacement tonne	2,29
Heel to Starboard degrees	0
Draft at FP m	0,237
Draft at AP m	0,198
Draft at LCF m	0,217
Trim (+ve by stern) m	-0,039
WL Length m	5,608
WL Beam m	2,266
Wetted Area m <sup>2</sup>	14,121
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	12,338
Prismatic Coeff.	0,899
Block Coeff.	0,886
Midship Area Coeff.	0,986
Waterpl. Area Coeff.	0,971
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	-0,124
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	-0,005
KB m	0,122
KG fluid m	0,943
BMt m	2,23
BML m	14,472
GMt m	1,409
GML m	13,652
KMt m	2,353
KML m	14,595
Immersion (TPc) tonne/cm	0,126
MTc tonne.m	0,056
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0,056
Max deck inclination deg	0,4
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,4

Tablica 7 – Izlazni podatci ravnotežnog stanja

Kao što vidimo gaz je unutar očekivanja za ovo stanje krcanja i moći će se razviti puna brzina.

### **Provjera stabilnosti**

Prema Hrvatskom registru brodova stabilitet praznog čamca u neoštećenom stanju mora udovoljavati zahtjevima da prilikom ulaska ljudi u plovilo poprečni nagib ne smije prijeći kut od  $15^\circ$  u momentu nagiba izazvanog težinom od  $20n$  (kg), ali ne manjom od 40 kg, na udaljenosti od  $B_{max}/2$  od simetrale čamca;  $n$  = odobreni broj osoba od 75 kg. Kako se predviđa prevoz maksimalno pet putnika, treba razmotriti nagib izazvan momentom 100kg na kraku od 1,2 m.

Maksimalni poprečni nagib koji se javlja je  $2^\circ$  i zadovoljava uvjete.

Da bi se izbjeglo prevrtanje, ili preveliko nagibanje čamca u slučaju da sve osobe na čamcu prijeđu na istu stranu, potrebno je provjeriti stabilitet čamca u neoštećenom stanju pri najvećem dopuštenom opterećenju, čime se potvrđuje da čamac udovoljava zahtjevima da poprečni nagib pri momentu poprečnog nagiba uslijed težine od  $75n$  (kg) ( $n$  = odobreni broj osoba od 75 kg), smještenih što je moguće bliže razmi, ali ne bliže od  $B_{max}/4$  od simetrale čamca.

U ovom slučaju promatramo pet ljudi od 75 kg na boku, i rezultatni poprečni nagib iznosi  $6,6^\circ$  što također zadovoljava.

## 10. TEHNIČKI OPIS

### Namjena i opis broda

Plovilo je jednotrupno s zračnom propulzijom, a primarna namjena su mu hitne intervencije, prevoz vatrogasaca, timova hitne pomoći i evakuiranje unesrećenih. Sekundarna namjena je ophodnog i turističkog karaktera. Tank goriva je nestrukturan. Plovilo je pogonjeno benzinskim osmerocilindričnim motorom i postiže brzinu od 45 čv.

#### Glavne značajke:

Duljina preko svega	6,5 m
Duljina između okomica	5,57 m
Širina na glavnom rebru	2,35 m
Gaz projektni	0,22 m
Snaga stroja	311 kw @ 5000 min <sup>-1</sup>
Kapacitet tanka goriva	110 l

#### Brzina i autonomija:

Maksimalna brzina od 45 čvorova na projektnom gasu razvija se pri 4200 o/min, a putna brzina od 40 čvorova razvija se pri 3500 o/min.

#### Pravila:

Korištena pravila Hrvatskog registra brodova za gradnju aluminijskih čamaca

## **Trup**

Materijal:

Aluminij

Gradnja:

Mješoviti tip gradnje, dno i paluba su ukrepljeni i uzdužnim i poprečnim elementima, a bok poprečnim.

Na svakom rebru razmaka 500 mm postavljene su pregrade, a svaka treća je nepropusna i na svakih 1500 mm tvore vodonepropusne odjeljke. Paluba i dno su još ukrepljene uzdužnim flat profilima na razmaku od 300 mm.

## **Pogon**

glavni stoj

tip: GM Vortec 8100

snaga: 311 kw @ 5000 o/min

kompozitni zračni propeler promjera 2000 mm s fiksnim krilima, 4 kraka

2 baterije za startanje motora

## **Brodski sustavi**

Sustav goriva:

Tank s filterom, daljinsko očitavanje nivoa

Sustav hlađenja motora:

Tank rashladne tekućine s filterima i radijator

Ispušni sustav:

Ispuh na krmi preko dvije ispušne grane s prigušnim loncima

Kontrolni sustavi:

Svi kontrolni instrumenti spojeni su na komandnu ploču gdje se nalaze pokazatelji rada motora, razine goriva, pokazatelji stanja baterija i brzinomjer.

Sustav upravljanja

-Dva zračna kormila montirana na zaštitni kavez propelera mehanički prenos na upravljačku polugu

Sustav zaštite od požara:

Jedan protupožarni aparat na CO<sub>2</sub> mase 4,5 kg

Električni sustav:

24 V za startanje motora

12 V za instrumente i svjetla

Električni kabeli

### **Brodsko oprema**

- VHF radiostanica

- GPS uređaj

- Navigacijska svjetla

- Svjetla za maglu

- Svjetlo za traženje (reflektor)

- Vodootporna baterijska svjetiljka

- Kutija prve pomoći

- Dvoja sklopiva nosila

- Prsluk za spašavanje za maksimalni broj ukrcanih ljudi i dva dodatna

- Komplet signalnih raketa

- Rezervni dijelovi za pogonski sustav koji su lako izmjenjivi

- Alat



## 11. LITERATURA

- [1] Internet, <http://www.americanairboats.com>
- [2] Internet, <http://www.canadianairboats.com>
- [3] Internet, <http://www.airboats4sar.com>
- [4] Internet, <http://www.gto-airboats.com>
- [5] Internet, <http://www.airboatmagazine.com>
- [6] Internet, <http://www.kopacki-rit.com/>
- [7] Internet, <http://www.neretva.info>
- [8] Internet, <http://www.vransko-jezero.hr/>
- [9] "Hrvatski registar brodova", 2004, Pravila za gradnju aluminijskih čamaca
- [10] "Aluminum and the sea", 1996, Pechiney Rhenalu
- [11] "Guide for aluminum hull welding" 1990, American welding society
- [12] "Theory of propellers" 1948, Theodore Theodorsen

## 12. ZAKLJUČAK

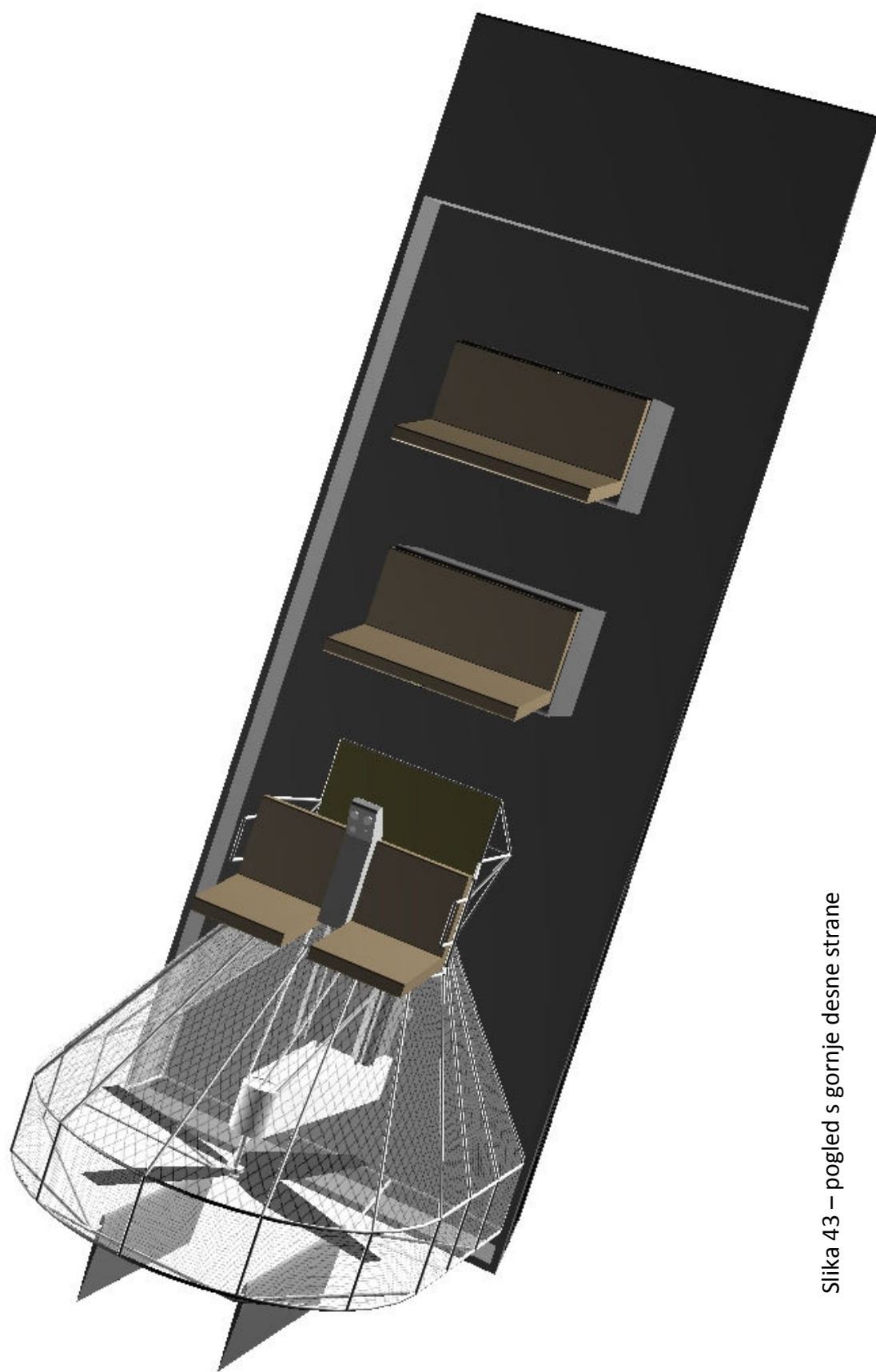
Radom na ovom zadatku zadovoljio sam projektne zahtjeve koji su stavljeni pred plovilo sa zračnom propulzijom. Može brzo i sigurno prevoziti ljude i teret po svim podlogama koje se mogu pojaviti u močvarama, bilo da se radi o četvorici vatrogasaca s punom vatrogasnom opremom, timu prve pomoći s medicinskom opremom, nadzornicima parka ili ribičima i lovcima.

Zbog previda broja putnika u turističkoj konfiguraciji postojeći raspored sjedala ne bi bio pogodan za putovanje šesterice odraslih osoba, ali to se jednostavno rješava proširenjem stražnje klupe za 30 cm, što još uvijek ostavlja dovoljno prostora da se uz bokove smjeste dvoja nosila, po jedna sa svake strane klupa za sjedenje. Ispod klupa su veliki sanduci za odlaganje opreme.

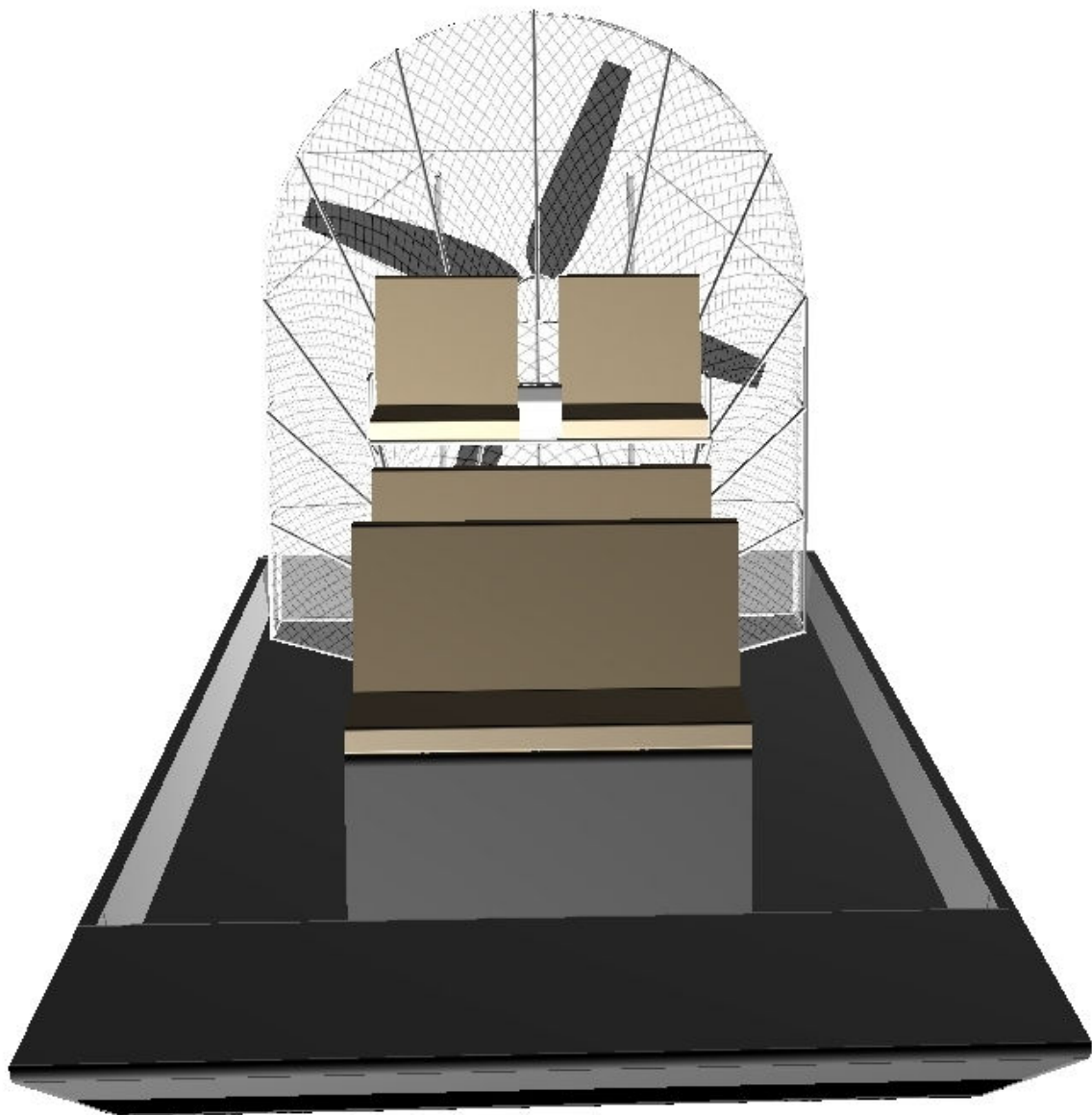
Pogonski sustav je tako projektiran da za najteži slučaj opterećenja, kad plovilo prevozi tonu tereta pruža putnu brzinu od 40 čv uz razumnu potrošnju. Kod hitnih prevoza može se razvit još veća brzina, preko 50 čv uz povećanu razinu buke, ali buka u takvim situacijama nije značajna.

Trup je ukrepljen predimenzionirano da bi imao zalihi čvrstoće u oštrim uvjetima korištenja na vodi, blatu, ledu i na čvrstom tlu. Prilikom brze vožnje močvarnim kanalima nije rijetkost da se naleti na skriveni trupac ili nekakvu drugu tvrdu prepreku. Tada se mora iskazati čvrst trup i zaštitni UHMW polimer kojim je trup obložen na svim izloženim djelovima. UHMW polimer ima dvostruku ulogu, uz to što pruža zaštitu od udaraca i habanja trupa, također služi kao klizač koji je po koeficijentu trenja usporediv sa teflonom. Prostor između trupa i palube je pregrađen s tri vodonepropusne pregrade i tako tvori četiri uzgonska odjeljka koji osiguravaju nepotopivost.

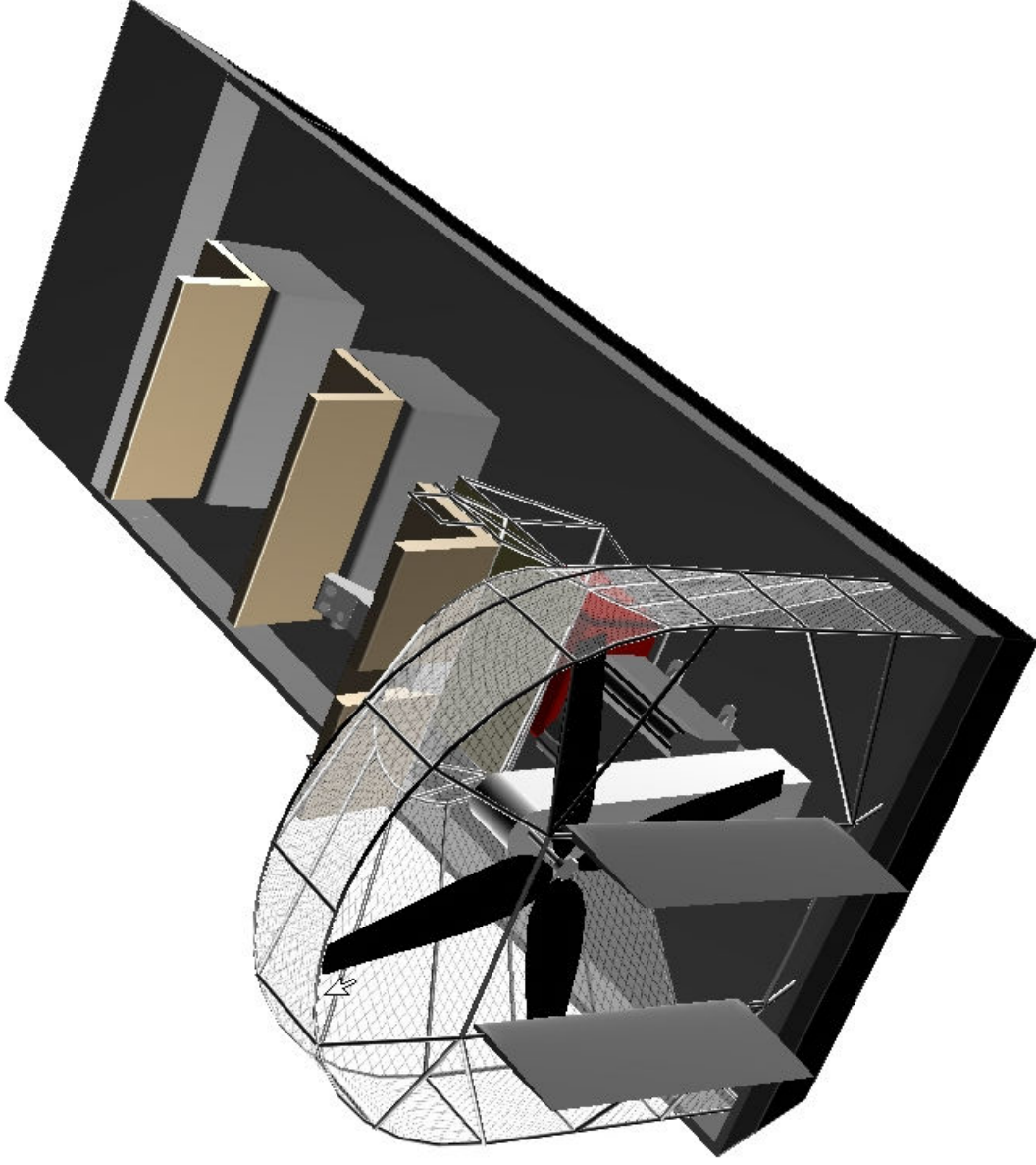
## **13. PRILOZI**



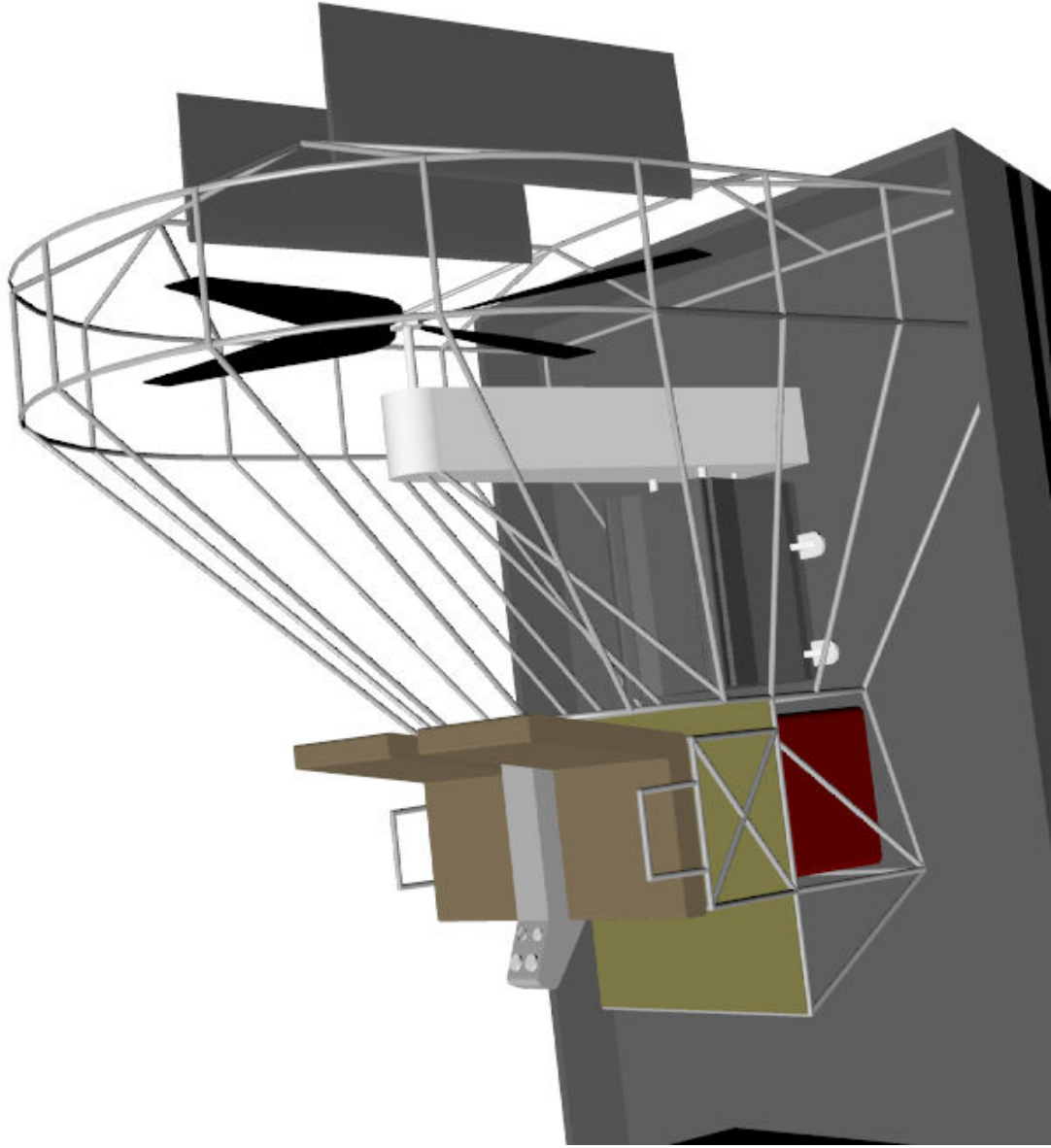
Slika 43 – pogled s gornje desne strane



Slika 44 – pogled od sprijeda



Slika 45 – pogled s stražnje gornje strane



Slika 46 – pogled s boka na pogonski sustav

