

Idejni projekt brzog broda s hibridnim pogonom

Concept Design of a Fast Craft With Hybrid Propulsion

Branko Blagojević

Sveučilište u Splitu
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
e-mail: bblag@fesb.hr

Josip Bašić

AVL AST d.o.o.
Croatia
e-mail: jbasic@live.com

UDK 629.5

Stručni članak / Professional paper
Rukopis primljen / Paper accepted: 27. 5. 2013.

Sažetak

U radu je prikazano idejno rješenje broda s hibridnim pogonom. Glavni cilj rada bio je ispitati mogućnosti instalacije hibridnih pogona na brze brodove za rekreacijske i turističke namjene, primarno za plovidbu Jadranskim morem. U ovom konceptualnom projektu razmatrane su uobičajene projektne varijable, kao što su dimenzije, brzina, cijena, težine i razmještaj težina na brodu. Posebno važan projektni cilj bio je utjecaj izabranog pogonskog rješenja na okoliš, pa su u radu ispitane mogućnosti plovidbe isključivo na električni pogon, koji se puni preko sustava solarnih panela, što predstavlja ekološki najprihvatljiviji pogon jer je jedini izvor energije Sunce.

Summary

In this paper a concept design of a craft with hybrid propulsion drive has been presented. The main project goal was to determine possibilities for installation of hybrid propulsion drive on fast craft for leisure and touristic purposes, primarily in the Adriatic Sea. Common design variables were assessed and analyzed such as dimensions, speed, cost, weighs and their distribution. Particular important project parameter was the environmental impact of the selected hybrid drive. One of the main objectives was to analyze craft's performance using solely electric drive, which is charged only through system of solar panels using only Sun as power source, and thus representing the most environmentaly friendly powering solution.

UVOD / Introduction

Većina energije koja se u svijetu koristi dolazi od neobnovljivih izvora energije, a procjenjuje se da je njihov udio 83.3% [16]. Ti izvori energije ograničeni su količinom i imaju negativan utjecaj na okoliš i atmosferu emitirajući velike količine ugljičnog dioksida. Smanjivanjem korištenja neobnovljivih izvora energije u transportu i većim korištenjem obnovljivih izvora energije, reducira se zagađenje okoliša i povećava se ekonomičnost i autonomnost vozila. Ideja o ekološki prihvatljivom izvoru energije za pogon kopnenih vozila potiče na istraživanje o stupnju ostvarivosti takvih sustava u praksi. Pojavom različitih rješenja hibridnih pogona za vozila tj. uspješnog udruživanja rada motora s unutrašnjim izgaranjem s elektromotorom, otvorile su se nove mogućnosti u projektiranju porivnih sustava plovnih objekata korištenjem sličnih principa [2, 6, 14, 15]. Dosada se pokazalo da, iako tehnologija ubrzano napreduje, upotreba isključivo obnovljivih izvora, a bez prisutnosti tradicionalnih izvora energije, još uvijek

nije dostatna za pogon komercijalnih plovila. Najčešće korišten obnovljivi izvor energije za vozila je Sunčeva energija. Uza sve napore uložene u razvoj tehnologija koje pretvaraju Sunčevu energiju u električnu, sve one još uvijek imaju jako nisku iskoristivost. Zato hibridni sustavi, koji predstavljaju prijelazni oblik porivne tehnologije, kriju potencijal za minimalizaciju korištenja fosilnih goriva i realističniji su izbor u praktične svrhe. Hibridni pogonski sustavi danas dobivaju sve više mjesta u medijima, ali sav taj 'hype' uključuje vrlo malo podataka koji bi pomogli u odluci je li tehnologija hibridne propulzije uopće isplativa i vrijedna razmatranja u brodogradnji. Ovaj rad daje uvid u tu problematiku preko primjera koncepta brzog broda za rekreativne i turističke svrhe uzimajući u obzir izvedivost, iskoristivost i ekonomičnost trenutno dostupnih dizel-elektro hibridnih porivnih sustava u kombinaciji sa solarnim panelima ugrađenim po trupu broda za proizvodnju ekološki čiste električne energije.

KLJUČNE RIJEČI

osnivanje brzog broda
propulzija
hibridni pogon.

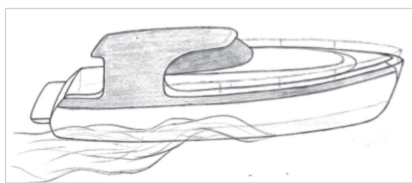
KEY WORDS

fast craft design
propulsion
hybrid powering

DIZAJN I GLAVNE IZMJERE BRODA / Craft design and main particulars

Nakon preliminarnih istraživanja i sakupljenih podataka o proizvedenim rješenjima brodova na čisti solarni ili hibridni pogon, prva pomisao bila je projektirati tip broda koji još nije izveden s takvim pogonom. Prvi zamišljeni koncept bio je retro tip gliserske jahtezbog atraktivnosti i namjene plovila. Takav tip jahte ima veliku površinu na pramcu koja se može iskoristiti kao površina za postavljanje solarnih panela. Ubrzo je ideja odbačena jer je trenutna ponuda hibridnih porivnih motora na tržištu tako slaba da još nema dostatno snažnih motora za ovakav tip broda i njegove dimenzije i ne bi imalo smisla projektirati glisersku jahtu koja postiže male brzine. To dobro oslikava trenutno stanje razvijenosti hibridnih pogona i njihove primjene u brodogradnji. S druge strane, smanjivanjem dimenzija broda kako bi se postigla mogućnost izbora hibridnih motora ne nalazi se dostatno površine za postavljanje solarnih panela. Ako

odbacimo ideju o velikoj brzini plovila (25 čvorova i više), najlogičnije rješenje je izrada koncepta krstaške brodice-jahte s kabinom. Ova vrsta jahte dolazi u svim istinskim izvedbama – deplasmanske, polu-deplasmanske, gliserske; i nudi velike površine krova kabine, koje u ovom slučaju mogu biti iskoristene kao podloga za solarne panele. Zamišljeni koncept prikazan je na slici 1. Oblik je prilagođen povećanju površine za postavljanje solarnih panela – uzdužna dimenzija krova blago je povećana, krov je poprečno proširen sve do boka broda, izrađen je dodatni nagib na završnom voju. Površina tog dijela je velika, a rješenje je prihvaćeno zbog mogućnosti ugradnje fleksibilnih solarnih panela [13]. Tako je moguće iskoristiti zakrivljene plohe trupa i nadgrađa za postavljanje što više panela, što je poželjno za energetske bilancu pošto je iskoristivost solarnih ćelija općenito niska.



a



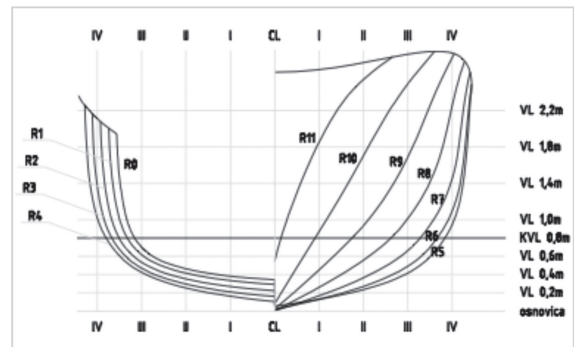
b

Slika 1. Izabrano projektno rješenje a) idejna skica b) sličan brod
Figure 1 Final project solution a) solution sketch b) similar craft

Regresijskom analizom prikupljenih podataka već proizvedenih sličnih brodova iste namjene [17], odabrana je glavna izmjera broda, duljina na konstrukcijskoj vodnoj liniji: $L=11,5$ m. Odabrana brzina broda prikladna krstaškom tipu jahte je $v = 18\text{kn} = 9,26$ m/s. Na temelju Foudeovog broja $F_{nL} = \frac{v}{\sqrt{gL}} = 0,87$, prema [20], može se zaključiti da brodu najbolje odgovara poludeplasmanski tip oblika dubokog V-profila, zaobljenog uzvoja te prilagođenog oblika krme za brzine kod kojih se već osjeća utjecaj hidrodinamičkih sila. Na temelju tako izabranih početnih parametara oblik

broda modeliran je na računalu i izrađen je nacrt rebara trupa broda prikazan na slici.

Nakon modeliranja oblika na računalu izračunata su obilježja jahte korištene u svim kasnijim proračunima prikazana u Tablici 1.



Slika 2. Nacrt rebara broda
Figure 2 Body plan

PROPULZIJSKI SUSTAV / Propulsion system

Moderni hibridni porivni sustavi kombiniraju konvencionalni motor s unutrašnjim izgaranjem s nekom drugom vrstom porivnog uređaja, poput elektromotora, motora na komprimirani zrak i sl. Kako se radi o projektu plovila koje će dio energije proizvoditi uz pomoć solarnih panela izabran je elektro-hibridni pogon broda.

Dva su tipa brodskih hibridnih porivnih sustava koji koriste električnu energiju: hibridni serijski sustav kod kojega dizel motor pogoni generator koji napaja elektromotor priključen na osovinu propelera (slika 3) i hibridni paralelni sustavi kod kojih su dizel motor i elektromotor spojeni izravno na istu osovinu, a prijenos se ostvaruje linijski ili pojasno (slika 4).

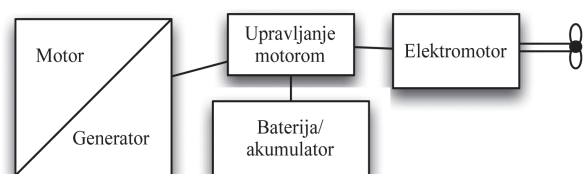
Paralelni hibridni sustav održava mehaničku vezu motora i osovine brodskog vijka. Elektromotor pogoni osovину brodskog vijka paralelno s motorom s unutrašnjim izgaranjem. Razdjelnik snage mehanički dopušta prijenos snage paralelnih veza; zato je moguće pogoniti brodski vijak samo uz pomoć motora s unutrašnjim izgaranjem, uz pomoć elektromotora ili koristeći oba motora.

Tablica 1. Glavne značajke broda
Table 1 Main particulars

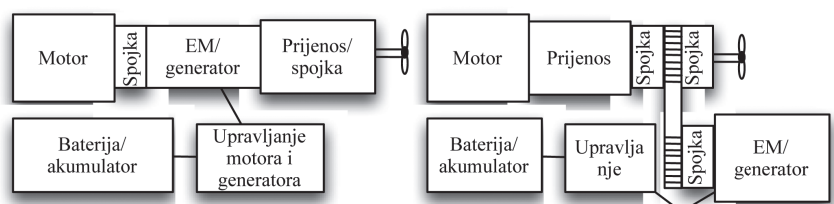
značajka	oznaka	
duljina vodne linije	L	11,48 m
širina	B	3,84 m
gaz	T	0,8 m
koeficijent punoće	C_B	0,426
volumen uronjenog dijela trupa (istisnine)	V	15,02 m ³
istisnina	Δ	15,43 t

Ovisno o kvaliteti izvedbe sustava, u slučaju pogona samo motorom s unutrašnjim izgaranjem, moguće je koristiti elektromotor kao generator električne energije. Zbog izostanka generatora električne energije kao zasebne jedinice, ovaj sustav zauzima najmanje prostora, te je najprikladniji za manje brodove i izabran za ovaj projekt.

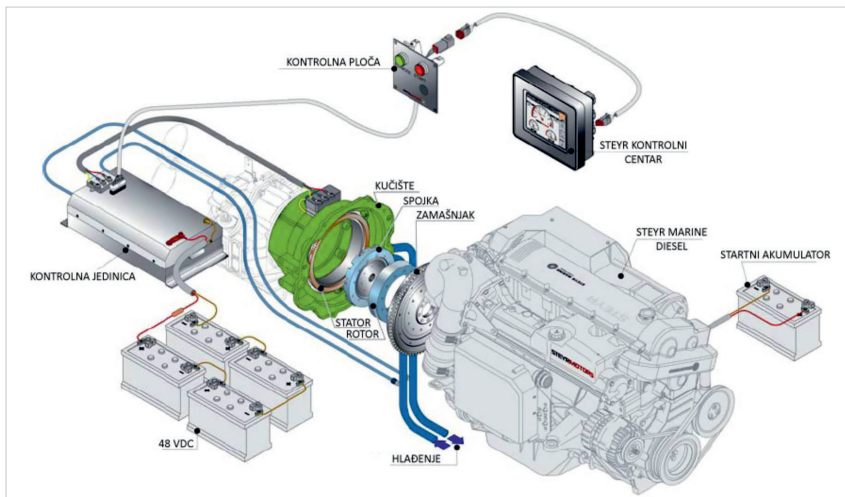
Pravo tržište elektro-hibridnih pogona brodova još ne postoji, a tek rijetki proizvođači pokušavaju progurati takve sustave na tržište, npr. *Electric Marine*



Slika 3. Shema hibridnog serijski sustav brodskog pogona.
Figure 3 Serial hybrid propulsion system



Slika 4. Shematski prikaz paralelnog hibridnog porivnog sustava: linijski prijenos (lijevo), pojasni prijenos (desno)
Figure 4 Parallel hybrid propulsion system: in-line transmission (left), belt transmission (right)



Slika 5. Shematski prikaz Steyr Hybrid porivnog sustava [18]
Figure 5 Steyr Diesel-electro Hybrid Propulsion System [18]

Propulsion, Hybrid Marine i Steyr Motors. Od njih tek Steyr Motors ima upotpunjenu ponudu paralelnog hibridnog sustava. Steyrov Diesel Electro Hybrid (slika 5) sustav je hibridni brodski motor koji može služiti kao elektromotor i generator od 7 kW napajajući se iz akumulatora koji se pune za vrijeme rada motora te kao start dizel motoru. Kod režima gdje su potrebni maksimalni okretajni momenti Hybrid daje motoru dodatnih 100 Nm okretnog momenta već pri minimalnom broju okretaja.

Hybrid je smješten na zamašnjaku glavnog pogonskog motora i razvija snagu od 7 kW pri 48 V. Teži 75 kg (bez akumulatora) te dodatno produžuje motor za 75 mm. Postoje 4 vrste rada:

- elektropokretač – pokretanje dizel motora,
- generator – punjenje akumulatora tijekom korištenja samo dizel motora,
- elektromotor za krstarenja – omogućuje plovidbu bez ispušnih plinova i buke (brod plovi pogonjen isključivo elektromotorom),
- elektromotor za dodatnu snagu – glavni pogonski motor biva potpomognut dodatnom snagom elektromotora.

Za izbor motora potrebno je odrediti snagu otpora broda. Empirijska metoda za početno određivanje sile otpora poludeplasmanskih trupova, R_H , izvedena je prema prikupljenim statističkim podacima temeljenim na koeficijentu vitkosti prema [3] i dana izrazom:

$$R_H = C_{TV} \frac{\rho v^2}{2} V^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

Koeficijent vitkosti iznosi:

$$C_V = \frac{L}{V^{\frac{1}{3}}} = 4,65$$

Koeficijent otpora C_{TV} je funkcija Froudeovog broja i koeficijenta vitkosti, pa se linearnom interpolacijom može odrediti uz pomoć dijagrama na slici 6 i iznosi $C_{TV} = 0,049$.

Sila otpora trupa broda za projektnu brzinu iznosi $R_H = 13,673$ kN.

Kako izraz (1) daje otpor samo trupa broda, potrebno je u obzir uzeti preostale otpore i gubitke da bi se dobio ukupni otpor broda R_T . Otpor dodatka (privjesaka) može se procijeniti na temelju dijagrama srednjih relativnih otpora dodatka R_{AP}/R_T , a ovisno o Froudeovom broju i broju porivnih vijaka (slika 7).

Za izračunati Froudeov broj i dva porivna vijka proizlazi da je omjer koeficijenta dodatka C_{AP} i koeficijenta ukupnog otpora C_T :

$$\frac{C_{AP}}{C_T} = \frac{C_{AP}}{C_{TV} + C_{AP}} = 11\%$$

Iz gornjeg omjera izračunava se otpor dodatka:

$$R_{AP} = \frac{11\%}{100\% - 11\%} R_H = 1,69$$

Ukupni otpor broda (uz zanemareni otpor zraka u ovoj fazi projekta) iznosi:

$$R_T = R_H + R_{AP} = 15,363 \text{ kN.}$$

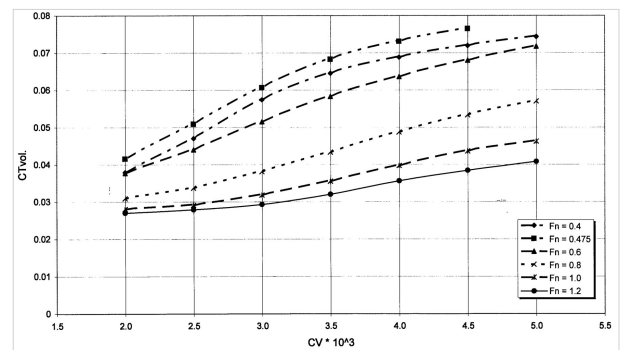
Potrebna efektivna snaga za projektnu brzinu broda je:

$$P_E = vR_T = 143 \text{ kW.}$$

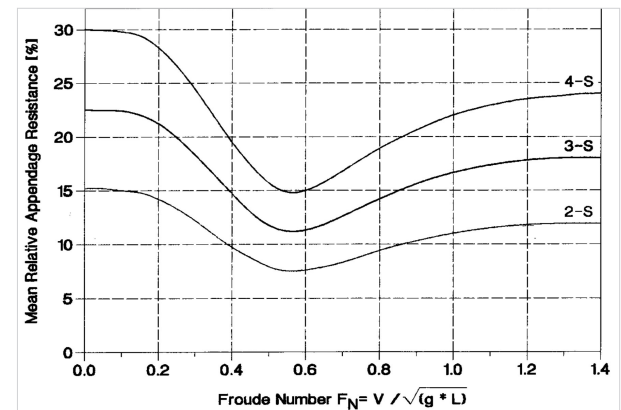
Kočiona snaga motora P_B dobije se uračunavanjem gubitaka zbog utjecaja brodskog vijka, utjecaja trupa i mehaničkih gubitaka prijenosa snage. Iskoristivost brodskih vijaka kod dvovijčanih sličnih brodova iznosi $\eta_0 = 0,65$; iskoristivost zbog utjecaja trupa η_H približno je jednaka 1, a iskoristivost mehaničkog prijenosa uzeta je kao i kod sličnih brodova: $\eta_M = 0,95$ [11]. Potrebna snaga onda iznosi:

$$P_B = \frac{P_E}{\eta_0 \eta_H \eta_M} = 230 \text{ kW}$$

Izabrana su dva Steyr 4-taktna dizel motora MO164V40 od po 125kW, mase 258kg, s 4000 o/min, hlađen vodom i zapremine 2133 cm³ te maksimalnog okretnog momenta 320Nm pri 2000rpm. Odabrani model ima mogućnost spajanja na krmenu pogonsku jedinicu sa Z-nogom, a izabran je MerCruiser Bravo II [7] koji je pogodan za ugradnju



Slika 6. Koeficijent otpora trupa brzih brodova [3]
Figure 6 Bare hull resistance coefficient for high-speed vessels [3]



Slika 7. Srednji relativni otpor dodatka RAP/RT brodova s 4 vijka (4-S), tri vijka (3-S) i dva vijka (2-S), [3]
Figure 7 Mean relative appendage resistance RAPP/RT for 4-screw (4-S), 3-screw (3-S) and 2-screw vessels (2-S) [3]

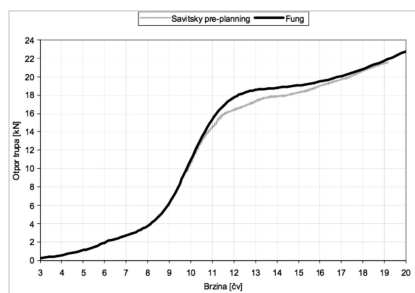
na transom, a što odgovara modeliranom obliku. Izabrana su i dva brodska vijka s po 3 krilca čije značajke je moguće odrediti uz pomoć empirijske metode *Crouch* [4]. Zbog prijenosnog omjera *MerCruiser* motora 1:1,65, brodski vijak će se na 85% snage motora vrtjeti oko 1700 RPM. Optimalni promjer broskog vijka dan je izrazom:

$$D = (632,7 P_p P^{0,2}) / (RPM)^{0,6} = 17,5'' = 0,443 \text{ m}$$

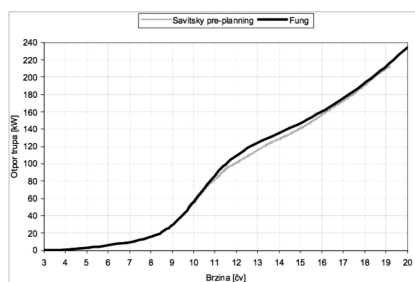
$$\text{gdje je } P_p = 0,85 \cdot P_B \cdot \eta_H$$

Prema srednjoj vrijednosti promjera izabran je brodski vijak, kojeg je potrebno uzeti u lijevokretnoj i desnokretnoj izvedbi, *PowerTech BRS3* [15] izrađen od nehrđajućeg čelika, s tri krilca, promjera 43,8cm i uspona krila 43,2cm.

Konačna procjena otpora broda, u ovoj preliminarnoj fazi projekta, napravljena je uz pomoć računalnog programa *Hullspeed* [8] i to po dvije metode *Fung* i *Savitsky* (pre-planning), a obzirom na izabrani oblik trupa i namjenu broda (slika 8 i 9):



Slika 8. Sila otpora trupa broda za konstrukcijski gaz
Figure 8 Ship hull resistance for datum waterline



Slika 9. Potrebna snaga propulzije
Figure 9 Required propulsion power

Na temelju spomenutog napravljen je konačni odabir motora: *Steyr MO286H43*, četverotaktni motor s turbo punjačem, snage 205kW i mase 322kg [18].

SUSTAV ELEKTRIČNE ENERGIJE / Electric power system

Najvažniji dio ovog projekta je izvor energije za predviđeni hibridni pogon.

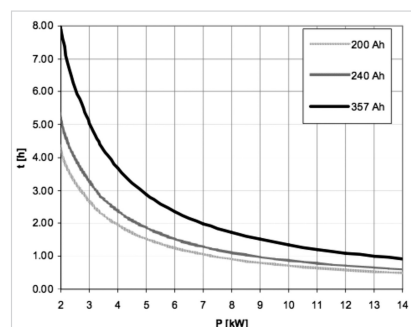
Naglasak projekta stavljen je na što je moguće veću autonomiju s obzirom na upotrebu dizela. Elektromotor mora biti spojen na napon od 48 V istosmjerne struje. Osim korištenja baterije od 48 V, tu vrijednost napona moguće je dobiti serijskim spojem od četiri akumulatora napona 12 V ili šest akumulatora napona 8 V. Ponuda baterija na tržištu dijeli se prema njihovom naponu i kapacitetu koji je dan kao produkt vremena i jakosti električne struje koju baterija može osigurati kroz to vrijeme. Baterije nižeg napona (od 2 do 4 V) mogu imati puno veći kapacitet nego ostale, ali njihova učinkovitost slabi pri korištenju visokih jakosti struja. Prema Peukertovom zakonu dan je izraz kojim se može aproksimirati koliko baterija dugo može davati određenu jakost struje dok se ne isprazni [12]:

$$t = H \cdot \left(\frac{C}{I \cdot H} \right)^k$$

gdje je:

t - vrijeme u satima, C - kapacitet baterija u amper-satima, H - broj sati u kojem je testiran kapacitet baterije, k - Peukertova konstanta, za kiselinske baterije iznosi $k \approx 1,1$, I - jakost električne struje u amperima, a $I = P / U$, gdje je P varijabilna snaga motora koja se kreće do 7kW, a U napon koji je 48 V za izabrani motor.

Kombiniranjem gornja dva izraza dobiva se podatak koliko će dugo brod moći ploviti određenom snagom samo na baterije (uz pretpostavku da se baterije za to vrijeme ne pune). Na tržištu su najviše zastupljene baterije kapaciteta 200 Ah. Graf na slici 10 prikazuje usporedbu trajanja baterija različitih kapaciteta prilikom plovidbe samo na elektro-pogon. Iz grafa je vidljivo da razlika 200 i 240 Ah baterija i nije velika, međutim, 357 Ah 12-voltna baterija imaju gotovo dvostruko veće vrijeme.



Slika 10. Karakteristike baterija
Figure 10 Battery characteristics

Na temelju gornjeg dijagrama izabrane su baterije *Rolls Solar 5000*, kapaciteta 357Ah (20h), odnosno 503 Ah (100h), mase 125kg.

ANALIZA SUSTAVA SOLARNE ENERGIJE / Analysis of a solar energy system

Područje Jadranskog mora zbog velikog broja sunčanih sati u godini krije dobar potencijal za iskorištavanje Sunčeve energije. Npr., na području Dalmacije, godišnja vrijednost zračenja iznosi oko 2000 kWh/m², što znači da bi optimalno usmjereni solarni moduli s osrednjom iskoristivosti mogli proizvoditi 234 W/m². Na tržištu solarnih panela najveći izbor nude monokristalni moduli. Najbolji i najskuplji paneli mogu proizvesti snagu od oko 200 W/m². Za krovnu površinu nadgrađa, izabran je silicijev monokristalni *Bosch Solar* modul c-Si M 60S M240, težine 22kg, otporan na atmosferske uvjete [1].

Na krovnu površinu nadgrađa, prema preliminarnom projektu, moguće je postaviti matricu od 4x3 *Bosch* solarnih panela. Prema NOCT tipu mjerenja, svaki od navedenih panela može proizvoditi električnu energiju snage 173 W, što iznosi ukupno 2076 W snage električne energije koje svi paneli zajednički mogu proizvesti.

Radi što većeg iskorištenja površine broda, na boku broda bit će postavljeni fleksibilni *triple-junction Uni-solar PVL-144* solarni moduli koji imaju dobru iskoristivost i pri oblačnom vremenu. Masa im je 8kg, fleksibilna struktura otporna na atmosferske uvjete i mehaničke udarce. Ploha koja spaja krov s bokom broda i ploha na boku broda prikazana na nacrtima bit će obložene navedenim fleksibilnim panelima (slika 11). Na svaku stranu boka ovako projektiranog broda moguće je postaviti dva fleksibilna panela, a na plohi koja spaja krov s bokom broda također po dva panela. Prema NOCT tipu mjerenja, svaki od navedenih panela može proizvoditi električnu energiju snage 111 W, što iznosi ukupno 888 W snage električne energije koje svi *Uni-Solar* paneli zajednički mogu proizvesti. Prema NOCT mjerenju, najveća ukupna izlazna snaga svih solarnih panela iznosi 2964 W. Budući je NOCT standardizirano mjerenje pri sunčevom zračenju od 800 W/m², prema STC mjerenju očekivana

izlazna snaga bila bi do 25% posto veća. U dobrim vremenskim uvjetima (sunčevo zračenje > 800 W/m², nema jakog vjetera i valova), za izlaznu snagu solarnih panela od oko 3 kW koja bi se koristila samo za propulziju, brod bi mogao neograničeno ploviti brzinom nešto većom od 4 čvora.



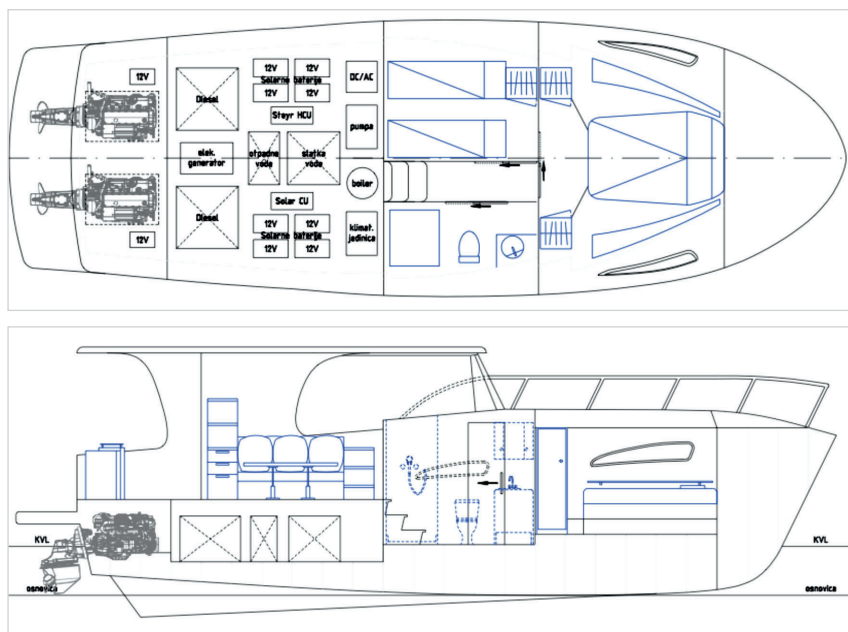
Slika 11. Smještaj solarnih panela na brodu - crne površine (krov nadgrađa - Bosch paneli, bokovi nadgrađa i trupa fleksibilni Uni-solar paneli)

Figure 11 Positioning of solar panel on the boat - black surfaces (superstructure roof - Bosch panels, superstructure sides and hull sides - flexible Uni-solar panels)

RASPORED TEŽINA I OPĆI PLAN / *Weights distribution and general arrangement*

Proračuni minimalnih zahtjeva i određivanje karakteristika elemenata konstrukcije broda obavljani su prema pravilima za brodove do 24 metra klasifikacijskog društva *Germanischer Lloyd* [5]. Brod je građen poprečnim sustavom gradnje s gustim orebrenjem, bez hrptenice i uzdužnjaka. Kontinuirani uzdužni element predstavlja oplata trupa i gredna kobilica spojena s pramčanom statvom. Za materijal trupa izabran je standardni brodograđevni aluminij Al-Mg-4.5 Mn (5083-O/H111). Iako bi se upotrebom kompozitnih materijala postigla lakša konstrukcija [10], a time i manja potrebna porivna snaga odnosno sustav solarne energije, kompoziti su se izbjegli zbog nemogućnosti recikliranja brodova građenih od stakloplastike i drugih kompozitnih materijala.

Zbog velikog broja pojedinačnih stavki ovdje nije prikazana tablica



Slika 12. Opći plan broda
Figure 12 General arrangement

svih težina, od elemenata trupa preko opreme, dijelova propulzijskog sustava, namještaja, itd. Preliminarna ukupna masa praznog broda iznosi 9,8 t, od čega su najveće mase masa trupa 5,5 t, masa solarnih baterija 1,0 t i dvaju motora 0,8 t. Opći plan broda, s rasporedom glavnih elemenata prikazan je na slici 12.

Na temelju svih određenih težina i njihova rasporeda napravljen je standardni proračun stabiliteta broda i to uz pomoć programa Hydromax [9] koji je usklađen sa zahtjevima registra GL.

TROŠKOVI HIBRIDNOG SUSTAVA / *Hybrid system costs*

Troškovi u izgradnji ovakvog broda, koji se razlikuju od uobičajenih plovila, odnose se na hibridni propulzijski sustav i sustav solarne energije. Obračun troškova navedenih elemenata prikazan je u tablici 2.

Sustavi sličnih mogućnosti, temeljeni samo na dizel propulziji, jeftiniji su

u prvom redu zbog toga što nemaju ugrađen sustav solarne energije dok su cijene samih motora za oko 10% niže.

ZAKLJUČAK / *Conclusion*

Koliko god dobro zvučala ideja o korištenju ekološki prihvatljivih izvora energije za pogon plovila, praktične izvedbe takvih sustava okarakterizirane su visokom cijenom i slabim stupnjem iskoristivosti. Zbog slabe iskoristivosti solarnih ćelija, koja se kreće od 10% do 20%, ako izuzmemo ekstremno skupe solarne ćelije korištene u svemirskim pogonima, potrebna je vrlo velika površina solarnih ćelija koja bi izravno davala dostatno snage za plovidbu broda „glisirajućim“ brzinama.

Koncept krstaške jahte s hibridnim pogonom, prikazan u ovom radu, teoretski može neograničeno koristiti električnu energiju snage oko 3 kW. Primjenom naprednijih solarnih ćelija može se ostvariti povećanje dobivene

Tablica 2. Cijene elemenata hibridnog sustava i sustava solarne energije
Table 2 Prices of hybrid propulsion system and solar energy system

Proizvod	Cijena / kom. €	kom.	Ukupno €
Rolls Solar 5000 12 CS 11 PS	750	8	6000
Bosch Solar Module c-Si M 60S M240	900	12	10800
Uni-Solar PVL-144	500	8	4000
Latronics 5000W 48V Pure Sinewave	3000	1	3000
Steyr Hybrid	14200	2	28400

snage i do četiri puta, a povećanjem omjera kapaciteta i mase baterija do dva puta, pa se hibridne izvedbe porivnog sustava čine vrlo izglednima za širu primjenu u skoroj budućnosti. Korištenjem tradicionalnih goriva mogle bi se postizati veće brzine, dok bi električna energija bila nadopuna snage ili pak korištena kao jedini izvor energije pri malim brzinama plovila, a razvojem i ugradnjom novih građevnih materijala trupa, kao što su nove vrste biokompozitnih materijala, postiglo bi se smanjenje mase broda, pa bi instalirana snaga bila dostatna i za postizanje većih brzina što ide u prilog korištenju elektrodijela hibridnog poriva. Cijena sustava hibridnog pogona potpomognutog solarnim sustavom za ispitanu vrstu plovila je oko 25% veća od sustava klasične dizel propulzije. S druge strane hibridno-

solarni sustavi, osim znatno manjeg utjecaja na zagađenje okoliša i smanjenu potrošnju goriva, imaju i mogućnost autonomne plovidbe korištenjem samo solarne energije za punjenje baterija, što bi mogla biti i presudna značajka za izbor ovog propulzijskog sustava ispred čisto dizelskog pogona.

LITERATURA / References

- [1] Bosch Solar, www.boschsolar.com.
- [2] Calder, N., The Hybrid Conundrum, Professional boatbuilder, Vol. 142, April 2013., pp 26-39.
- [3] Fritsch M., Bertram V., Hydrodynamic Design Aspects for Fast Conventional Vessels, International AMC Workshop, 2003.
- [4] Gerr, The Propeller Handbook, International Marine, 2001.
- [5] Germanischer Lloyd, Rules for Classification and Construction: Yachts and Boats up to 24 m, 2003.
- [6] Hawkley Silicon Systems, Technology evaluation: Propulsion methods for a 32' auxiliary yachts, www.hybrid-marine.co.uk, February 2007.

- [7] Hitech Marine, www.hitechmarine.com.
- [8] Hullspeed Manual, Bentley Engineering, 2012.
- [9] Hydromax Manual, Bentley Engineering, 2012.
- [10] Marinić-Kragjić I., Blagojević B., Usporedba konstrukcije trupa brzog broda od različitih materijala, interni izvještaj, FESB Split, 2011.
- [11] Molland A. et al, Ship Resistance and Propulsion, Cambridge University Press 2011.
- [12] Peukert's Law, http://en.wikipedia.org/wiki/Peukert's_Law
- [13] PowerFilm Solar, Flexible Solar Panels, <http://www.powerfilmsolar.com>
- [14] Propulsion Marine, Electric propulsion systems, www.propulsionmarine.com, 2011.
- [15] PT propellers, www.ptpropeller.com.
- [16] REN21: Renewables 2012, Global Status Report, 2012.
- [17] Roberts Tad: „Powerboat Design, Form and Function“, 1997.
- [18] Steyr Motors, Full Hybrid Propulsion System, www.steyr-motors.com, 2012.
- [19] ZF Marine, Marine Hybrid Propulsion Solutions, www.zf.com/marine, 2012.
- [20] Watson D., Practical Ship Design, Elsevier Science, Oxford, 2002.

