

Ivo SENJANOVIĆ
Andreja WERNER
Nikola VLADIMIR

O propulziji motornoga čamca MAESTRAL 700

Stručni rad

Tipična korčulanska pasara zadržala je svoju podvodnu formu i u izvedbi pojačanim poliestrom. U današnjim uvjetima nastoji joj se povećati brzina ugradnjom snažnijeg motora i intuitivnom modifikacijom krme. Na primjeru MAESTRALA 700 ilustrirano je stručno utemeljeno rješenje na osnovi povezanosti snage motora, plošnoga spojlera i primjerenog vijka.

Cljučne riječi: motorni čamac, propulzija, spojler

On the Propulsion of the MAESTRAL 700 Motor Boat

Professional paper

A typical Korčula pasara has kept its wetted form also in the fibre reinforced polyester production (FRP). Nowadays, the tendency is to increase its speed by installing a more powerful engine and intuitively modifying its stern. A professionally based solution, which comprises engine power, flat spoiler and appropriate propeller, is illustrated in the case of MAESTRAL 700 motor boat.

Keywords: motor boat, propulsion, spoiler

Authors' Address (Adresa autora):
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, I. Lučića 5,
10 000 Zagreb, Croatia
E-mail: ivo.senjanovic@fsb.hr

Received (Primljeno): 2010-01-26
Accepted (Prihvaćeno): 2010-02-05
Open for discussion (Otvoreno za raspravu): 2011-09-30

1. Uvod

Razvojem kemijske industrije nakon 2. svjetskog rata uvodi se pojačani poliestar u malu brodogradnju. Grade se čamci, jedrilice, ribarice, ophodni čamci i dr. U tome je kod nas prednjačilo brodogradilište Greben – Vela Luka, čiji se proizvodi, građeni u zatvorenom i klimatski kontroliranom prostoru, odlikuju visokom kakvoćom, masivni su i ne podliježu djelovanju osmoze. Robusnost ih čini vrlo dobrim nadomjeskom drvenih brodova, za koje se smatra da „imaju dušu“.

MAESTRAL 700 jedan je od takvih proizvoda brodogradilišta Greben, koji se 70-ih godina izrađivao u osnovnoj neopremljenoj izvedbi kao motorni čamac za rekreaciju i ribolov. Čamac ima formu tipične korčulanske pasare, primjerene motorima do 20 kW i brzini oko 7 čv.

Razvojem nautičkoga turizma na Jadranu uz luksuzne jedrilice prevladavaju brzi gliseri i motorne jahte, među kojima naš MAESTRAL 700 ostaje neprimijećen. Vlasnici ovoga tipa čamca, koji danas pretežito služi za obiteljska kružna putovanja, trude se ugradnjom jakih motora uz modifikaciju forme krme postići veću brzinu. Tako se mogu susresti manje ili više uspješna rješenja preoblikovanja korčulanske pasare u malu motornu jahtu.

Svrha je ovog rada prikaz jednog od uspješnijih rješenja, koje se zasniva na stručnoj analizi, i stoga može poslužiti kao putokaz u pronalaženju sličnih modifikacija.

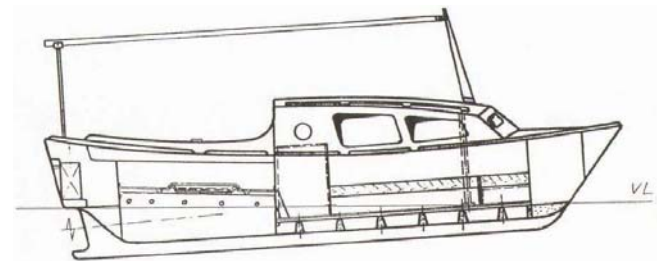
2. Značajke čamca i motora

Originalni motorni čamac MAESTRAL 700, glavnih izmjera:

| | |
|------------------------|-------------------|
| duljina preko svega | $L_{oa} = 7,10$ m |
| širina | $B = 2,70$ m |
| visina do krova kabine | $H = 1,76$ m |

prikazan je na slici 1 u osnovnoj izvedbi. Čamac o kojem je ovdje riječ opremljen je dizelskim motorom YANMAR 3JH3E sljedećih značajki:

| | |
|---------------------------------------|--------------------|
| masa motora | 186 kg |
| broj cilindara | 3 |
| kontinuirana snaga na osovini | kW/rpm = 26,5/3650 |
| maksimalna snaga na osovini | kW/rpm = 29,4/3800 |
| redukcija broja okretaja | 2,5 |
| brzina vijka pri kontinuiranom pogonu | 1457 rpm |



Slika 1 Motorni čamac MAESTRAL 700 u osnovnoj izvedbi
Figure 1 Motor boat MAESTRAL 700, basic design

Za pogon je odabran trokrilni VETUS vijak, koji se preporučuje za brzinu čamca od 8 čv:

| | |
|--|---------------------|
| promjer vijka | $D = 17'' = 432$ mm |
| uspon | $P = 11'' = 279$ mm |
| odnos uspona i promjera | $P/D = 0,646$ |
| odnos razvijene površine krila i diska | $A_e/A_0 = 0,53$ |
| promjer osovine | $d = 30$ mm |

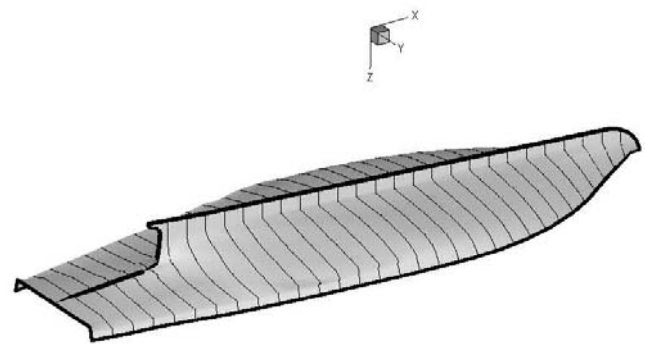
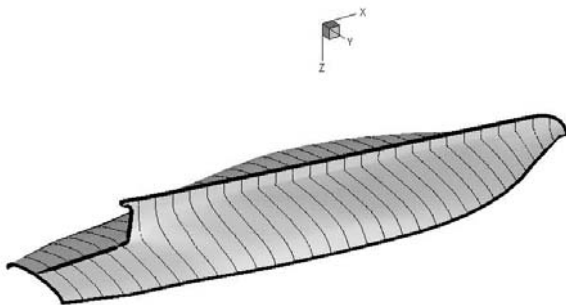
3. Analiza otpora

Da bi se povećala brzina broda za relativno jaki motor od 30 kW, čamac je produljen zaobljenim spojlerom duljine $l = 100$ cm, koji prati formu krmenog dijela broda. Mjerenjem brzine pomoću GPS-a ustanovljeno je da ona kod maksimalne snage doseže vrijednost od 7,5 čv, s nulnim gradijentom, što znači da se s još jačim motorom ne bi ostvarilo povećanje brzine. Vizualnim opažanjem ustanovljeno je stvaranje visokoga krmenog vala, pa se prišlo analizi otpora valova.

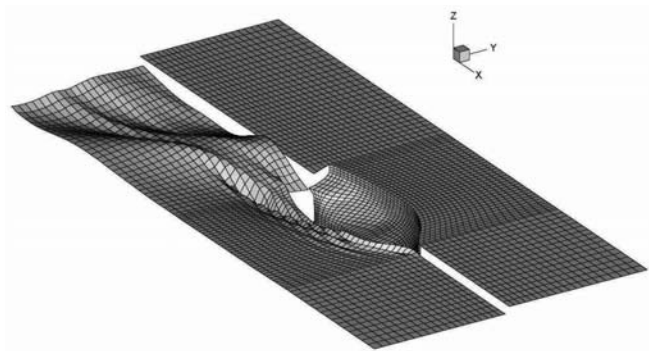
U brodograđevnoj praksi otpor broda razlučuje se na otpor trenja oplakane površine, otpor forme i otpor valova [1]. Brod generira pramčane valove pod određenim ostrim kutom i krmene valove okomite na smjer napredovanja broda. U promatranom slučaju otpor stvaranjem krmenog vala najistaknutiji je dio u ukupnom otporu, pa se na njega može utjecati modifikacijom oblika krme čamca.

Radi toga proveden je proračun otpora valova trodimenzionalnom panelnom metodom i fortranskim kodom razvijenim na *Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu* [2]. Pretpostavljen je neviskozni i nestlačivi fluid, a gibanje čestica je bezvrtložno. Potencijal brzine zadovoljava Laplaceovu jednadžbu na domeni i linearizirani rubni uvjet na slobodnoj površini. Metoda se temelji na raspodjeli većeg broja panela preko oplakane površine broda i slobodne površine, na kojima se raspoređuju jednostavni singulariteti Rankineovoga tipa, s konstantnom snagom izvora i rješavanju sustava algebarskih jednadžbi. Trup broda reprezentiran je ravnim panelima, kao i slobodna površina s tim što su paneli slobodne površine izdignuti iznad slobodne površine (za oko 0,8 duljine panela). Tijekom simulacije brodskom trupu su omogućeni paralelan uron i dinamički trim. U razmatranje su uzete dvije forme krme: s oblim spojlerom i s plošnim spojlerom, slike 2 i 3. Mreža panela slobodne površine vode i oplakane površine trupa vidljiva je na slici 4 za osnovnu izvedbu čamca, tj. bez spojlera, slika 1. Lijeva simetralna strana prikazuje nedeformiranu mrežu slobodne površine pri mirovanju čamca, a desna deformiranu mrežu pri određenoj brzini čamca. Ne ulazeći u numeričke vrijednosti otpora valova i njegovog utjecaja na brzinu broda, na slikama 5 i 6 prikazani su generirani valovi dobiveni simulacijom plovidbe čamca na mirnoj vodi s oblim odnosno plošnim spojlerom. Vidljivo je da je krmeni val u slučaju plošnoga spojlera manji od onog dobivenog s oblim spojlerom što znači da plošni spojler smanjuje interferenciju pramčanog i krmenog sustava valova. Na taj je način izbjegnuta izravna superpozicija generiranih valova, koja se u krivulji otpora manifestira izrazitim grbom.

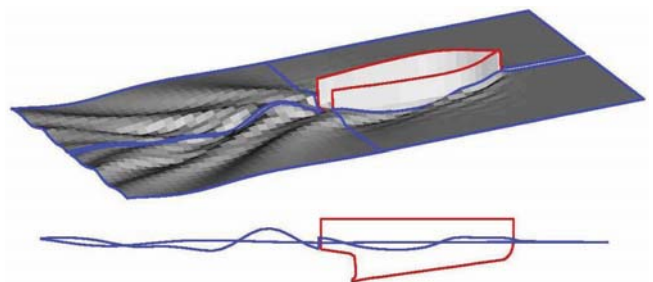
Slika 2 Model oplakane površine s oblim spojlerom
Figure 2 Model of wetted surface with curved spoiler



Slika 3 Model oplakane površine s plošnim spojlerom
Figure 3 Model of wetted surface with flat spoiler

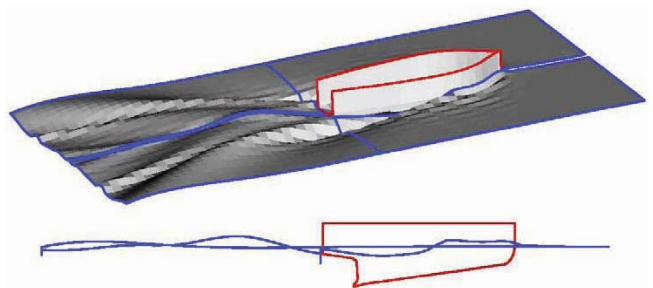


Slika 4 Panelni model slobodne površine vode i oplakane površine trupa bez spojlera
Figure 4 Panel model of free surface and hull wetted surface without spoiler



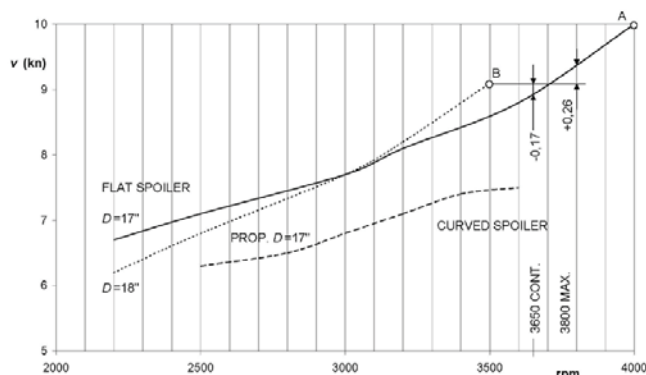
Slika 5 Simulirani valovi u slučaju obloga spojlera
Figure 5 Simulated waves in case of curved spoiler

Slika 6 Simulirani valovi u slučaju plošnoga spojlera
Figure 6 Simulated waves in case of flat spoiler



4. Brzina čamca

S obzirom da je analiza otpora valova pokazala mogućnost povećanja brzine čamca, izvršena je modifikacija njegova krmenog dijela zaravnavanjem dna spojlera u duljini od cca 2 m: jedan metar na području spojlera, a drugi unutar trupa. Izmjerena brzina broda za promatrana dva slučaja forme krme prikazana je na slici 7 u ovisnosti o brzini vrtnje motora. Uočljiv je znatan porast brzine čamca u slučaju plošnog spojlera u odnosu na obli spojler. U prvom slučaju gradijent brzine raste dok je u drugom slučaju jednak nuli. Dakle, čamac je zašao u poludeplasmansko područje, pa bi dalji rast snage motora pridonio povećanju brzine.



Slika 7 Brzina čamca u ovisnosti o brzini motora
Figure 7 Boat speed as a function of engine speed

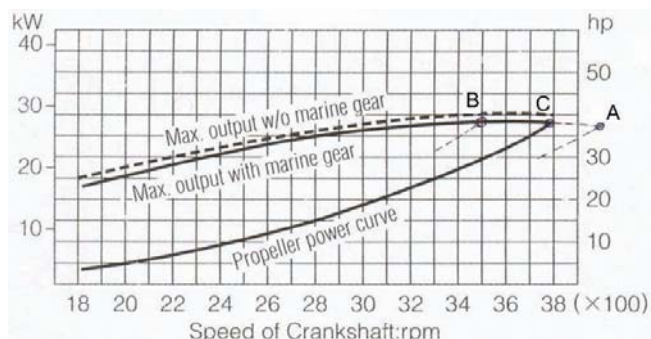
Čamac s plošnim spojlerom postigao je maksimalnu brzinu od 10 čv, ali pri brzini motora od 4000 o/min koja je viša od maksimalne dopuštene od 3800 o/min. To znači da postojeći vijak ne može apsorbirati svu snagu motora pri dopuštenom broju okretaja. Stoga je proračunom definiran i ugrađen novi trokrilni vijak domaće proizvodnje sljedećih značajki:

$$D = 18'' = 457 \text{ mm}; P/D = 0,659; A_c/A_0 = 0,479.$$

Postignuta brzina s novim vijkom uspoređena je s prethodnim dijagramom brzine s VETUS-ovim vijkom na slici 7. S novim vijkom ostvaruje se manja brzina čamca do 3000 o/min odnosno veća iznad toga. Nažalost, motor s novim vijkom postiže maksimalnu brzinu vrtnje od 3500 o/min što je niže od maksimalno dopuštene brzine od 3800 o/min, kojoj se težilo. S VETUS-ovim vijkom promjera $D = 17''$ postignuta je manja brzina čamca za 0,17 čv pri brzini motora u trajnom pogonu, 3650 o/min, u odnosu na maksimalnu brzinu čamca s vijkom $D = 18''$. Pri maksimalnoj brzini motora, 3800 o/min, ostvaren je rast brzine od 0,26 čv, slika 7.

Točke maksimalne brzine čamca A i B sa slike 7 prenijete su u dijagram snage motora u ovisnosti o njegovoj brzini, slika 8. Vidljivo je da vijak $D = 18''$ akumulira raspoloživu snagu motora već pri 3500 o/min, dok vijak $D = 17''$ to ostvaruje kod brzine motora od 4000 o/min, koja je znatno veća od maksimalno dopuštene, 3800 o/min. Na osnovi preporučene krivulje snage na vijku proizlazi da je optimalno rješenje vijak značajki $D =$

442 mm i $P/D = 0,654$ koje su određene interpolacijom između značajki dva promatrana vijka, točka C na slici 8.



Slika 8 Snaga motora i vijka u ovisnosti o brzini vrtnje motora
Figure 8 Engine and propeller power as functions of engine speed

5. Uvjeti poludeplasmanskoga svojstva

Modificiranje podvodne forme čamca, radi povećanja njegove brzine, nema smisla ukoliko se ne može ostvariti nužan uvjet za ulazak u poludeplasmansko područje:

$$1,0 < F_{nV} \leq 3,0$$

gdje je prema [3]

$$F_{nV} = \frac{v}{\sqrt{g\nabla^{1/3}}}$$

Froudeov volumenski broj, v [m/s] brzina čamca, ∇ [m³] volumen istisnine, a g [m/s²] konstanta gravitacije. Dostatan uvjet za ostvarenje gornjeg cilja jest modifikacija forme krme tako da uzdužnice budu što položnije, tj. paralelne s vodnom linijom, i da širina spojlera iznosi barem 80 posto širine broda na konstruktivnoj vodnoj liniji (KVL). U promatranom primjeru za $\nabla = 2 \text{ m}^3$ i $v = 9 \text{ čv} = 4,63 \text{ m/s}$ dobiva se $F_{nV} = 1,32$, što znači da je nužan uvjet ispunjen.

6. Zaključak

U današnje vrijeme, okruženi brzim gliserima i motornim jahtama, naši klasični čamci postali su prespori. Stoga se vlasnici dovijaju na razne načine kako bi im povećali brzinu. Ugrađuju se jaki motori i izrađuju spojleri intuitivno bez neke stručne podloge.

U ovom radu nastojalo se na primjeru motornoga čamca MAESTRAL 700 objasniti fizikalnu pozadinu problema kao spregu snage motora, modifikacije krme i izbora vijka, slika 9. Pritom se zašlo u numeričku simulaciju generiranja valova. Rezultati analize pokazuju da ugradnja snažnog motora na postojeću klasičnu podvodnu formu korčulanske pasare ne pridonosi povećanju brzine čamca. Energija se troši na generiranje velikoga krmenog vala. Ugradnja spojlera s plošnim dnom znatno povećava brzinu dajući čamcu karakter poludeplasmanskoga plovila. Za postizanje

ovog učinka nije potrebno zaravnavati čitavo dno čamca kao kod glisera. Pri svakoj modifikaciji podvodne forme broda potrebno je odrediti optimalni vijak s kojim se postiže maksimalna brzina vrtnje motora.

U analiziranom primjeru zadržan je vijak VETUS $D = 17''$, kao trajno rješenje, koji je nešto lakši pa je motor podopterećen, tako da lako dosegne, pa čak i prekorači nominalni broj okretaja od 3800 o/min. To ne treba smatrati nekim nedostatkom već naprotiv i prednošću, jer proizvođači dizelskih motora preferiraju lakši vijak, kako ne bi došlo do preopterećenja motora u plovidbi na valovima, odnosno zbog obraštanja podvodnog dijela trupa, te punoga gaza brodice.

Zahvala

Autori se zahvaljuju mr.sc. Danku Gugiću na korisnim savjetima. Zahvala se upućuje također g. Andriji Dumaniću za nadzor nad rekonstrukcijom čamca i provedena mjerenja.

Literatura

- [1] van LAMEREN, W.P.A.: Otpor i propulzija brodova, *Brodarski institut, Zagreb, 1952.*
- [2] WERNER, A.: Istraživanje oblika dvotrupnoga broda minimalnog otpora valova, Disertacija, *FSB Zagreb, 1987.*
- [3] SENTIĆ, A., FANCEV, M.: Problemi otpora i propulzije brodova, *Brodarski institut, Zagreb, 1956.*

Slika 9 **Modificirani čamac MAESTRAL 700**
Figure 9 **Modified motor boat MAESTRAL 700**

