

Dr. sc. **Dinko Zorović**
Mr. sc. **Robert Mohović**
Pomorski fakultet
Rijeka, Studentska 2

Pregledni članak
UDK: 629.5.015.4
629.572

O OBLIKU KRILA HIDROKRILNIH BRODOVA

Da bi se povećala brzina pri razmjerno lijepom vremenu, konstruirani su brodovi koji imaju podvodna krila. Po mirnome moru takvi brodovi povećavaju brzinu toliko da izdignu deplasmanski oblik broda nad morem: pod morem su jedino krila, vijci i kormilo. U prošlosti, prije četrdesetak godina, pojavila su se dva tipa krila: prvi brodovi imali su krilo hidrodinamičnog oblika poput avionskog krila odnosno krila ptica, poslije su na plovilima krila poprimila fizikalni oblik Venturijeva odsječka kruga u svome poprečnom presjeku. Unatoč usavršavanju strojeva zadnjih godina, smanjenju potrošnje goriva po snazi, rezultati uspoređivanja pokazuju da su prvi hidrokrični brodovi bili ekonomičniji od današnjih. Jedna je od pretpostavki da je tome pridonio sversishodniji oblik krila.

Ključne riječi: hidrokrična plovila, uzgon, hidrodinamički oblik krila, ušteda pogonske energije

1. UVOD

Brodovi koji u svojoj eksploataciji zahtijevaju velike brzine jesu:

- ratni brodovi
- putnički brodovi
- u manjoj mjeri brodovi za sport i razonodu.

Valja istaknuti da posljednjih ima razmjerno malo jer su to većinom brodice.

Veliki ratni i putnički brodovi, koji u svom radijusu kretanja susreću i lošija stanja mora, brzinu postižu finim podvodnim linijama, što većim odnosom duljine u odnosu na širenu. Najdalje se u tome otišlo u povijesti na jednoj jedrilici čija je duljina bila 36 m, a širina 1,5 m, dakle odnos

$$\text{duljina} : \text{širina} = 24 : 1$$

Bilo je mnogo ratnih i putničkih brodova u eksploataciji s ovim omjerom većim od 10:1.

Mali deplasmanski brodovi i brodice vrlo teško postižu velike brzine. Ako se to i postigne, cjelokupni je oblik plovila podvrgnut tom jedinom cilju – brzini, i nepodoban je za bilo koju drugu namjenu. Tipičan je primjer torpeda.

Da bi manji brodovi i brodice postigli veliku brzinu, konstruirani su takva oblika da se podignu izvan mora te tako smanje trenje između trupa i vode. Zna se da otpor trenja raste s kvadratom brzine, prema tome svako smanjivanje klizajuće površine uvelike pridonosi brzini. Da bi se plovilo moglo uzdignuti iznad mora, dno treba biti gliserskog tipa, dakle uzdužni vertikalni presjeci moraju biti pravci duž dna.

Glisiranjem se dobiva i manji val, a, kao što se zna, otpor broda zbog stvaranja vlastitog vala raste s trećom potencijom brzine, pa smanjenje vala znatno utječe na smanjenje otpora upravo pri velikim brzinama.

Daljnji korak u smanjivanju otpora pri velikim brzinama plovila išao je u smjeru smanjivanja dodirne površine broda i mora. To se postiglo podizanjem trupa izvan mora na podvodnim krilima.

Time je omogućen deplasmanski oblik osnovnog trupa koji će lakše podnositi valove pri malim brzinama, a isto tako manje se osjeti loše more na malim površinama krila nego što bi to bilo na velikoj ravnoj površini dna da je gliserski tip broda.

Da bi se smanjila površina krila, a postigao dovoljan "uzgon", primijenio se Venturijev princip te se dobio deplasmanski oblik u kojem je donja površina ravnina, dakle, gliserski tip, a gornja zaobljena kako bi se povećala brzina strujanja vode uz nju. Uz poznati odnos:

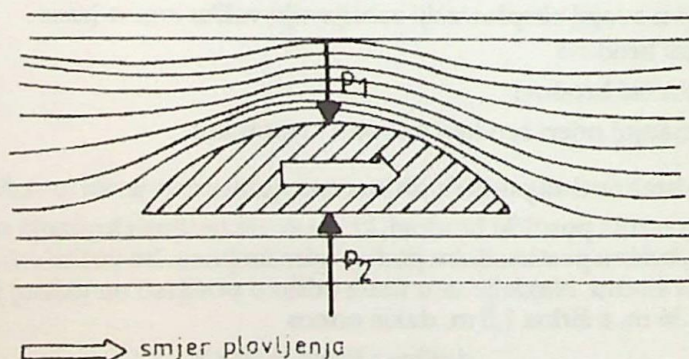
$$p \cdot v = konst.$$

gdje su:

p – tlak

v – brzina

uz gornju plohu krila veća je brzina strujanja vode nego uz donju (gušće su strujnice) pa je manji tlak p_1 na krilo (slika 1.) nego što je p_2 uz donju plohu.



Slika 1. Odnosi tlakova na krilu

Razlika tlakova:

$$\Delta p = p_2 - p_1$$

stvara dodatni "uzgon" brodu koji se pribraja "podizanju" trupa zahvaljujući donjim glisirajućim površinama krila.

2. CILJ RADA

Napredak tehnologije ogleđa se i u povećanju koeficijenta iskoristivosti prijevoznih sredstava: uz relativno manju snagu postižu se veće brzine, veća nosivost, veći ekonomski učinak, itd.

Uspoređujući razvoj hidrokrilnih brodova, opaža se, međutim, stanovito nazadovanje.

U ovom se radu želi uspoređivanjem pogonskih parametara i postignutih rezultata upozoriti na neka poboljšanja koja bi trebalo ponovno aktualizirati.

3. ISPITIVANI UZORCI PLOVILA

Za analiziranje željenih parametara, u ovom su radu uzeta dva tipa hidrokrilnih brodova. Jedan je među prvima sagrađenim u povijesti prije četrdesetak godina u Messini (Italija) koji je pod imenom *Vihor* ušao u sastav Jadrolinije Rijeka. Drugi je jedan od posljednjih sagrađenih, ruski tip *Kometa* u sastavu flote Kvarner-Expressa iz Opatije, a pod imenom *Mirta*.

U tablici dane su njihove karakteristike i performance.

Tablica 1. Usporedba hidrokrilnih brodova (1)

Hidrokrilni brod	Vihor	Mirta
Nosivost putnika	165	140
Brzina (čv)	37	33
Snaga motora (KS)	2700	2800
Potrošnja goriva (kg/sat)	180	240
Odnos: površine krila: površini trupa	1:80	1:80
Najmanji radijus okretaja pri punoj brzini (m)	300	1500

4. ANALIZA OBILJEŽJA PLOVILA

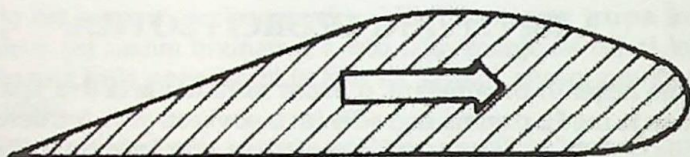
Uočljivi su nedostaci novoga broda u odnosu prema starijem. Iskoristivost uvjetuje uglavnom uronjeni dio trupa jer je tamo otpor mnogo veći nego u zraku. Uronjeni dijelovi hidrokrilnih brodova jesu:

- krila
- vijci
- kormila.

Kormila obaju tipova broda vizualno su slična, a analiza performansi vijaka nadizali zahtjeve koje se postavilo u ovom radu. Može se jedino pretpostaviti da vijak danas svojim "kvalitetama" nadilazi vijak od prije četrdeset godina. Tako bi trebalo biti i s potrošnjom u odnosu na snagu motora: *Vihor* je trošio 66 g/KS.SAT dok *Mirta* troši 87 g/KS.SAT, dakle znatno više. No ti podaci ne utječu na pomorsku iskoristivost već na ekonomičnost poslovanja.

$$\text{Pomorska iskoristivost} = \text{brzina} \cdot \text{nosivost}$$

Ono što je bitno drukčije kod razmatranih brodova, jest oblik krila. Presjek krila hidrokrilnog broda *Vihor* prikazan je na slici 2., dok je presjek krila broda *Mirta* prikazan na slici 3.



Slika 2. Presjek krila broda "Vihor"



Slika 3. Presjek krila broda "Mirta"

Analizirajući slike, uočljivo je da brod *Mirta* ima školski primjer krila po Venturiju, u kojem se podtlak na konveksnoj strani postiže samo povećanjem brzine strujanja stvaranjem prepreke. Prepreka ima u ovom slučaju glatki oblik kružnog luka.

Presjek krila broda *Vihor* imao je aero/hidrodinamičan oblik poput oblika brzih riba, krila ptica te krila aviona. Tim oblikom krila postignuto je:

- prepreka s gornje strane, koja će proizvesti podtlak
- hidrodinamičar oblik s ciljem smanjenja otpora kretanja u gustom sredstvu.

Čovjek-graditelj je u povijesti uvijek kopirao prirodu. Oblici plovila imali su tijekom povijesti tup pramac, a oštru krmu (osim jedrilica do 15. stoljeća kada se jedrilo samo "u krmu" pa su krme bile visoke i široke da ih more ne bi prelijevalo). Sličan oblik produžene kaplje imaju torpeda, podmornica te današnji golemi brodovi za prijevoz tekućih i suhih rasutih tereta.

Proširujući ovakvo analiziranje na oblik krila hidrokrilnih brodova može se zaključiti da su plovila tipa *Vihor* tako dobre karakteristike odnosa snaga-brzina-nosivost postizavali dobrim dijelom optimalnim oblikom presjeka krila.

Začuđujuće je da su na kasnija plovila tipa *Mirta* ugrađena takva krila koja ne slijede prirodni oblik riba, ptica ili kopalja, pa se to očituje u slabijim performansama.

Iz tablice 1. osobito upada u oči velika razlika u radijusu okretanja broda pri punoj brzini. Manjem radijusu okretanja najviše pridonosi oblik krila, a osobito pogodan oblik prikazan je na slici 2. kad je brod, pa tako i krilo, nagnut prema središtu okretanja.

5. ZAKLJUČAK

- Deplasmanski tip broda, premda pogodan za veliko more, ne može postići dovoljno velike brzine.
- Glisirajuća plovila s ravnim vertikalnim presjecima dna podižu plovila na vodu te omogućavaju velike brzine, što se osobito koristi kod manjih plovila.
- Da bi se smanjio otpor trenja s vodom, smanjuje se dodirna površina tako da se brod podigne na krila.
- Krilo podiže brod svojom donjom glisirajućom ravnom plohom i gornjim - Venturijevim izbočenjem.
- Najbolji rezultati postižu se primjenom aero-hidrodinamičkog oblika krila poput krila ptica i aviona u zraku.
- Primjena takva oblika krila očituje se u većoj brzini, manjoj potrošnji goriva te mnogo manjem radijusu kruga okretanja.

LITERATURA

- [1] Tehnički podaci broda *Vihor* i *Mirta*.
- [2] H. Schneekluth, *Ships Design for Efficiency and Economy*, Butterworths & Co., Ltd., London, 1987.
- [3] K. J. Rawson, E. C. Tupper, *Basic Ship Theory, Volume 2, Ship Dynamics and Design*, Longman Scientific & Technical, Hong Kong, 1986.
- [4] R. Munro-Smith, *Ships & Naval Architecture*, The Institute of Marine Engineers, London, 1973.
- [5] I. Glavan, Poljana 8/1, Mali Lošinj, iskustva upravitelja stroja na brodu *Vihor*.

Summary

THE WING SHAPE OF THE HYDROFOIL CRAFT

In order to increase speed in relatively fair weather conditions, underwater wings have been added to the ship's hull. At calm sea these ships increase their speed so much as to raise the ship's hull above the sea level. The wings, propellers and rudder are the only immersed into the sea. Some forty years ago, two types of wings existed: the first one with a hydrodynamic shape, resembling to the airplane or bird's wing, while wings of a later date had the shape of the Venturi segment of the circle with a chord in their cross-section. In spite of the improvements that the marine engines had undergone in recent years and the reduction of fuel consumption per HP, the results compared have shown that the first hydrofoil crafts were more efficient than the modern ones. One of the hypotheses is that this is due to the wing shape.

Key words: hidrofoil crafts, buoyancy, hidrodinamic wing shape, propulsion energy savings