

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

Stručni članak
UDK: 629.5.072.4
629.54

ANALIZA UČINKOVITOSTI MANEVRIRANJA VRLO BRZIH PLOVILA

Pojavom brodova sa dva (ili više) propulzora kod kojih se mlaz vode može po volji usmjeravati, omogućeno je poprečno translatorno gibanje pogodno pri manevriranju, primjerice pri manevru pristajanja i isplovljenja. U suvremenoj praksi takve izvedbe propulzora javljaju se na vrlo brzim brodovima. Međutim, slične se postavke mogu primijeniti i kod plovila s raznim izvedbama azimutalnih propulzora. Sofisticirani računalski uređaji omogućavaju vrlo jednostavno usmjeravanje plovila; navigator na zapovjedničkome mostu samo postavlja polugu u željeni položaj – smjer. Pomak kao i brzina broda računalski se određuje prema unaprijed programiranim obrascima. Kod kvarova na računalima ili pak na brodovima starije generacije, propulzore treba ručno zakretati oko vertikalne osi te ručno regulirati sile poriva. U ovom radu prikazani su vektorski i analitički obrasci koji definiraju odklon propulzora i veličinu poriva kojima će se ostvariti željeni pomak broda. Broj vrlo brzih brodova značajno raste pa razmatranju problematike manevriranja brodovima s posebnim manevarskim svojstvima valja posvetiti posebnu pažnju, a sve poradi povećanja stupnja sigurnosti plovidbe i zaštite morskog okoliša.

Ključne riječi: vrlo brzi brodovi, učinkovitost manevriranja, vektorski i analitički obrasci

1. UVOD

U počecima mehaničkog poriva plovila propulzori su bili smješteni na bokovima brodova. Kola s lopaticama omogućavala su plovidbu naprijed i natrag te okretanje broda. Primjenom broskog vijka postignuta je uzdužna translacija broda naprijed i natrag, a zakretanje plovila postiže se kormilom. Pri manevriranju zakretanje broda postiže se dodatno korištenjem sidra i sidrenog lanca, priveznih konopa (springa), tegljača itd.

Udvajanjem vijaka dobila su se mnogo bolja manevarska svojstva broda, pri čemu je moguće okretanje broda u mjestu samo uz djelovanje poriva.

Pojavom pramčanog propulzora kod brodova s jednim vijkom, također je omogućeno okretanje broda u mjestu. Uz pomoć pramčanog propulzora i sa dva

vijka, brod se može pomicati bočno. Za takve pomake potrebna su, dakle, tri porivna sredstva.

Uvođenjem propulzora koji se mogu okretati oko vertikalne osi, već se sa dva takva propulzora brod može okretati i translirati u željenom smjeru.

Najjednostavnije bi bilo manevrirati brodom koji ima jedan propulzor na pramcu, a drugi na krmi. Međutim, za plovidbu morem, posebice po većim valovima, potrebno je oba propulzora ugraditi na krmi broda.

Na suvremenim automatiziranim plovilima smjer djelovanja i silu propulzora određuje računalo prema unaprijed programiranim obrascima: navigator samo postavlja ručicu za upravljanje u željeni smjer; brzinu translacije regulira nagibom poluge.

Ovakve izvedbe propulzora javljaju se na vrlo brzim brodovima (*High Speed Craft – HSC*). Vrlo brzi brodovi znatno se razlikuju od ostalih brodova prema svojim konstrukcijskim obilježjima, obilježjima stabilnosti, velikim brzinama plovidbe te manevarskim obilježjima. Broj takvih plovnih jedinca u suvremenoj pomorskoj praksi postaje sve veći pa je razmatranje problematike manevriranja takvim brodovima sve značajnije s aspekta sigurnosti plovidbe i, indirektno, zaštite morskog okoliša. Zakonitosti koje se javljaju pri manevriranju takvim brodovima mogu se na sličan način primijeniti i kod plovila s raznim izvedbama azimutalnih propulzora.

U ovom radu prikazani su vektorski i analitički obrasci koji definiraju otklon propulzora i veličinu poriva kojima se može ostvariti željeni pomak broda. Tako definirani obrasci doprinose su razumijevanju tehnologije manevriranja tom vrstom brodova.

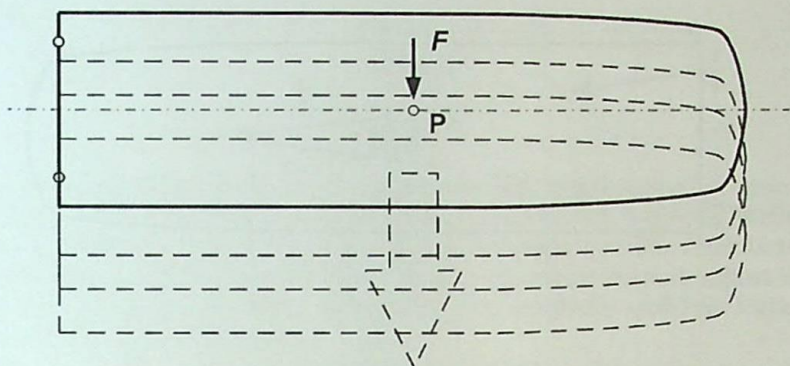
Ovakvi obrasci mogu pomoći navigatoru u određivanju otklona i poriva propulzora za željeni pomak broda na brodovima koji imaju dva propulzora, ali nemaju odgovarajuću računalnu podršku.

2. ANALIZA MOGUĆNOSTI POPREČNOG KRETANJA BRODA

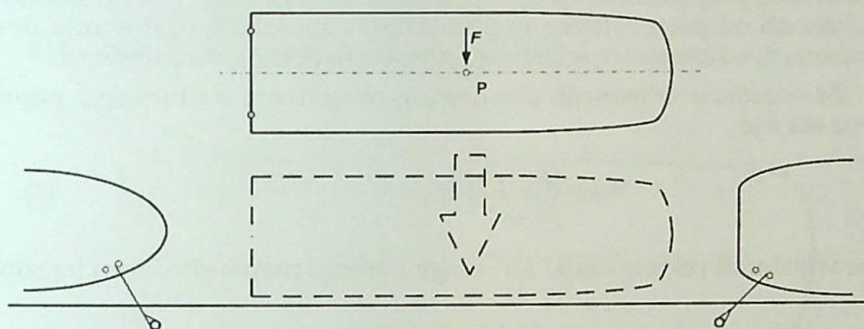
Pod točkom okretanja broda *P* (engl. *pivot point*) razumijeva se točka u kojoj treba djelovati sila *F* da bi se brod koji miruje počeo translatorno gibati bez rotacije (slika 1.).

Točka *P*, dok brod miruje tj. ne kreće se naprijed ili natrag, nalazi se približno na sredini broda. Pri vožnji naprijed točka okretanja broda pomiče se prema pramcu na približno $\frac{1}{4}$ duljine od pramca, dok se pri vožnji krmom pomiče prema krmi, na približno $\frac{3}{4}$ duljine broda od pramca.

Pri manevriranju brodom s ovim mogućnostima, navigatori mogu zaustaviti brod bočno pred mjestom gdje će se privezati i tada ga bočno translirati u smjeru okomito na obalu (slika 2.). Naime, ako poprečna sila djeluje u točki *P*, brod će se translirati paralelno k obali.



Slika 1. Točka okretanja broda i poprečni pomak za brod koji se ne kreće



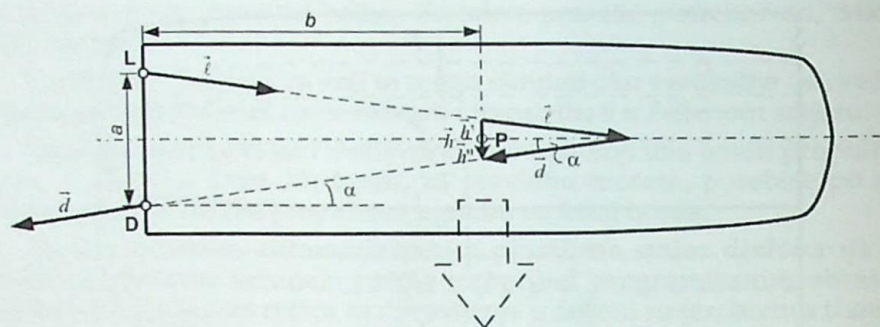
Slika 2. Načelni prikaz pristajanja vrlo brzog plovila

Učinkoviti pomak broda k obali (slika 3.) postiže se djelovanjem oba propulzora i to lijevim L naprijed, a desnim D krmom kako bi se ostvario pomak broda udesno. Na slici 3. oznake imaju sljedeće značenje:

- a – razmak između propulzora
- b – udaljenost točke okreta broda P od propulzora
- α – kut između smjera djelovanja propulzora i uzdužnice plovila
- \vec{d} – vektor sile desnog propulzora
- \vec{l} – vektor sile lijevog propulzora
- \vec{h} – vektor sile poprečnog poriva plovila

Pomak broda prema obali bit će moguć uz odgovarajući kut otklona propulzora α i kada su:

$$|\vec{d}| = |\vec{l}| \quad (1)$$



Slika 3. Poprečna translacija broda

Poprečna sila poriva \bar{h} poprimit će maksimalnu vrijednost pri maksimalnim silama poriva \bar{l} i \bar{d} . Maksimalne sile poriva ograničene su maksimalnom silom poriva desnog propulzora \bar{d} koji djeluje krmom. Prema tome, u svim slučajevima valja krenuti od pretpostavke maksimalnoga mogućeg djelovanja desnog propulzora, tj. od konstante vrijednosti sile poriva desnog propulzora \bar{d} .

Za određene vrijednosti sile desnog propulzora \bar{d} i lijevog \bar{l} poprečna porivna sila \bar{h} je:

$$|\bar{h}| = |\bar{h}'| + |\bar{h}''| \quad (2)$$

dok se vrijednosti vektora sila $|\bar{h}'|$ i $|\bar{h}''|$ mogu odrediti prema sljedećim izrazima:

$$|\bar{h}'| = \sqrt{(|\bar{l}|)^2 - (|\bar{l}| \cos \alpha)^2} \quad (3)$$

$$|\bar{h}''| = \sqrt{(|\bar{d}|)^2 - (|\bar{d}| \cos \alpha)^2} \quad (4)$$

Vrijednost poprečnog poriva \bar{h} može se odrediti i razmatrajući geometriju lijevog ili desnog propulzora. Za geometriju lijevog propulzora vrijedi:

$$|\bar{h}|: a = |\bar{l}| \cos \alpha: (b + |\bar{l}| \cos \alpha),$$

odakle slijedi:

$$|\bar{h}| = \frac{a \cdot |\bar{l}| \cos \alpha}{b + |\bar{l}| \cos \alpha} \quad (5)$$

Isto vrijedi za geometriju desnog propulzora:

$$|\bar{h}|: a = |\bar{d}| \cos \alpha: (b + |\bar{d}| \cos \alpha),$$

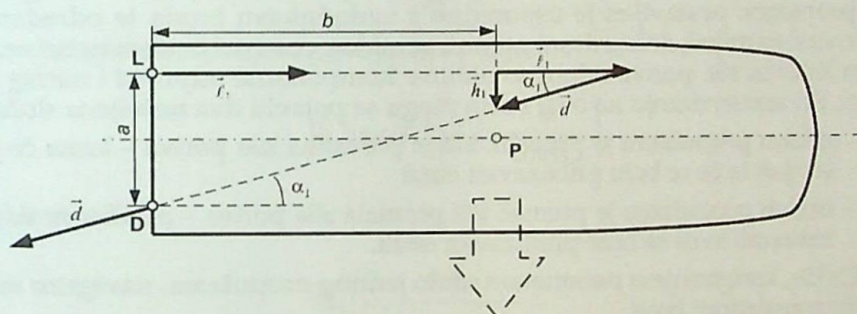
odnosno

$$|\bar{h}| = \frac{a \cdot |\bar{d}| \cos \alpha}{b + |\bar{d}| \cos \alpha} \quad (6)$$

U ovom slučaju, da bi se ostvarilo poprečno translatorno kretanje plovila, s povećanjem kuta α smanjuju se veličine vektora sila \bar{d} i \bar{l} , a time se smanjuje i sila poprečnog poriva \bar{h} . Smanjivanjem kuta α povećavaju se veličine vektora sila \bar{d} i \bar{l} te se time povećava sila poprečnog poriva \bar{h} . U prethodnim razmatranjima valja uzeti u obzir činjenicu da postoje ograničenja u pogledu veličine kuta otklona propulzora α kao i veličina sila poriva \bar{d} i \bar{l} .

Uz ovu pretpostavku koja se može koristiti u manevriranju, gdje su sile poriva \bar{l} i \bar{d} jednake i simetrične, moguće su i druge pretpostavke. Npr., kad je kut otklona jednog propulzora jednak nuli (slika 4.). Na ovoj slici oznake imaju sljedeće značenje:

- α_1 – kut otklona desnog propulzora
- \bar{l}_1 – vektor sile lijevog propulzora
- \bar{h}_1 – vektor sile poprečnog poriva plovila



Slika 4. Poprečna translacija broda – lijevi propulzor usporedno s uzdužnicom

U ovom slučaju za određene vrijednosti sile desnog propulzora \bar{d} i lijevog propulzora \bar{l}_1 poprečna porivna sila \bar{h}_1 je:

$$|\bar{h}_1| = \sqrt{(|\bar{d}|)^2 - (|\bar{l}_1|)^2} \quad (7)$$

Vrijednost poprečnog poriva \bar{h}_1 može se odrediti razmatrajući geometriju desnog propulzora te vrijedi:

$$|\bar{h}_1| : a = |\bar{d}| : \left(|\bar{d}| + \frac{b}{\cos \alpha_1} \right)$$

Isto se može postići držanjem desnog propulzora paralelno s uzdužnicom broda te zakretanjem lijevog propulzora (slika 5.). Na ovoj slici oznake imaju sljedeće značenje:

α_2 – kut otklona lijevog propulzora

\vec{l}_2 – vektor sile lijevog propulzora

\vec{h}_2 – vektor sile poprečnog poriva plovila

U ovom slučaju za određene vrijednosti sile desnog propulzora \vec{d} i lijevog propulzora \vec{l}_2 poprečna porivna sila \vec{h}_2 je:

$$|\vec{h}_2| = \sqrt{(|\vec{l}_2|)^2 - (|\vec{d}|)^2} \quad (10)$$

Vrijednost poprečnog poriva \vec{h}_2 može se odrediti razmatrajući geometriju desnog propulzora te vrijedi:

$$|\vec{h}_2| : a = |\vec{d}| : (|\vec{d}| + b),$$

odnosno:

$$|\vec{h}_2| = \frac{a \cdot |\vec{d}|}{|\vec{d}| + b} \quad (11)$$

I za geometriju lijevog propulzora vrijedi:

$$|\vec{h}_2| : a = |\vec{l}_2| : \left(|\vec{l}_2| + \frac{b}{\cos \alpha_2} \right)$$

odakle slijedi:

$$|\vec{h}_2| = \frac{a \cdot |\vec{l}_2|}{|\vec{l}_2| + \frac{b}{\cos \alpha_2}} \quad (12)$$

Poprečni pomak odnosno silu bočnog poriva \vec{h}_3 moguće je postići kao što je to prikazano na slici 6. U ovom slučaju sila bočnog poriva \vec{h}_3 za određenu veličinu vektora sile poriva desnog propulzora \vec{d} bit će veća negoli sile bočnih poriva u prethodno analiziranim slučajevima. Ova situacija može se postići otklanjanjem propulzora za kut α_3 . Oznake na slici 6. imaju sljedeće značenje:

α_3 – kut otklona propulzora u odnosu na uzdužnicu plovila

\vec{l}_3 – vektor sile lijevog propulzora

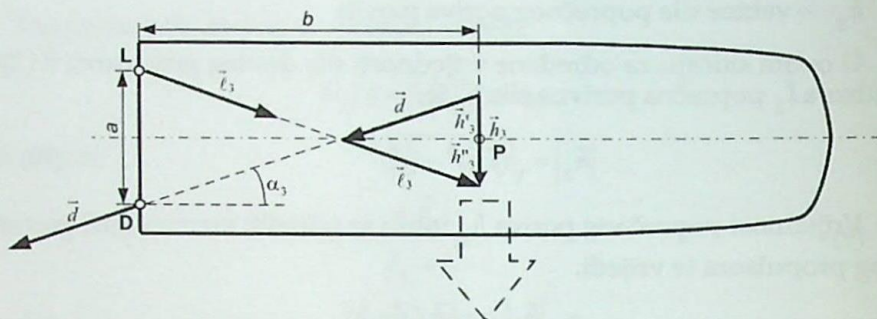
\vec{h}_3 – vektor sile poprečnog poriva plovila

U ovom slučaju sila desnog propulzora \vec{d} jednaka je sili lijevog propulzora \vec{l}_3 , ($\vec{d} = \vec{l}_3$), a poprečna porivna sila \vec{h}_3 je:

$$|\vec{h}_3| = |\vec{h}'_3| + |\vec{h}''_3| \quad (13)$$

dok se vrijednosti vektora sila $|\vec{h}'_3|$ i $|\vec{h}''_3|$ mogu odrediti prema sljedećim izrazima:

$$|\vec{h}'_3| = \sqrt{(|\vec{l}_3|)^2 - (|\vec{l}_3| \cos \alpha_3)^2} \quad (14)$$



Slika 6. Prikaz položaja propulzora za postizanje veće translatorne sile

$$|\vec{h}''_3| = \sqrt{(|\vec{d}|)^2 - (|\vec{d}| \cos \alpha_3)^2} \quad (15)$$

U ovom slučaju, za geometriju desnog propulzora, može se postaviti sljedeći odnos:

$$|\vec{h}_3| : a = \frac{|\vec{d}|}{\cos \alpha_3} : \left(b - \frac{|\vec{d}|}{\cos \alpha_3} \right)$$

odnosno:

$$|\vec{h}_3| = \frac{a \cdot |\vec{d}|}{b \cos \alpha_3 - |\vec{d}|} \quad (16)$$

Isto vrijedi za geometriju lijevog propulzora:

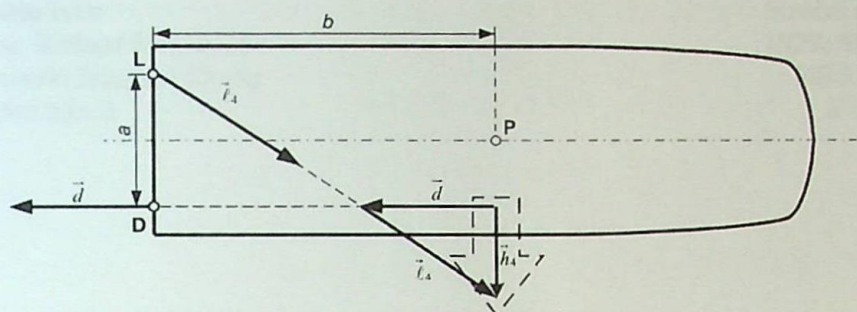
$$|\vec{h}_3| = \frac{a \cdot |\vec{l}_3|}{b \cos \alpha_3 - |\vec{l}_3|} \quad (17)$$

Za određenu vrijednost vektora sile poriva desnog propulzora \vec{d} i vektora sile lijevog propulzora \vec{l}_3 vrijedi izraz: $\alpha_3 > \alpha$ te je stoga i $h_3 > h$.

Neiskusnom navigatoru može se preporučiti situacija kao na slici 7. koja je jednostavnija. Oznake na slici 7. imaju sljedeće značenje:

\vec{l}_4 – vektor sile lijevog propulzora

\vec{h}_4 – vektor sile poprečnog poriva plovila.



Slika 7. Poprečna translacija u slučaju kad jedan propulzor djeluje krmom u smjeru uzdužnice

U ovom slučaju desnim propulzorom valja djelovati određenom snagom natrag, a lijevim propulzorom znatno otklonjenim, naprijed. Kombinirajući kut lijevog propulzora i silu poriva moguća je kontrola translatornog pomaka bez rotacije.

$$|\vec{h}_4| = \sqrt{(|\vec{L}_4|)^2 - (|\vec{d}|)^2} \quad (18)$$

Ako se brod želi pomicati translatorno ulijevo, svi prije izneseni parametri simetrični su s obzirom na uzdužnicu broda.

3. ZAKLJUČAK

Vrlo brzi brodovi pripadaju brodovima s posebnim manevarskim svojstvima te je poznavanje njihovih manevarskih obilježja od velike važnosti za sigurnost plovidbe.

Definirani i analizirani analitički obrasci i vektorski prikazi osnova su razumijevanja tehnologije manevriranja tom vrstom brodova.

Brod sa dva mlazna propulzora može manevrirati kao klasični brod sa dva vijka. Za manevar pristajanja ili isplovljenja potrebno mu je znatno više prostora no što je duljina broda.

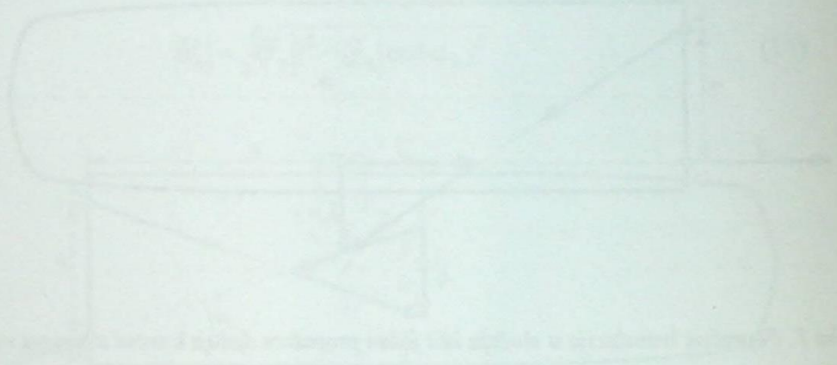
Da bi se smanjio potreban prostor za manevriranje, propulzori se mogu otkloniti. Time je omogućeno i rotacijsko i translatorno gibanje broda.

Najmanje mjesta za manevar pristajanja zauzima brod koji se zaustavi pred pristanom i započne translatorno gibanje prema obali.

Naprijed su izneseni primjeri za pomak broda udesno. Za pomak ulijevo sile i/ili otkloni propulzora su simetrični s obzirom na uzdužnicu broda.

LITERATURA

- [1] Priručnik za rukovanje brzim plovilom, SuperCut 1-9, JUMBOCAT class, Universal Aboitiz Inc., Cebu City, 1998.



Summary

ANALYSIS OF THE MANOEUVRING EFFICIENCY OF HIGH SPEED CRAFTS

The appearance of ships with two or more thruster with the possibility of directing the water jet, has made the transversal translational movement suitable for the manoeuvring procedure while berthing or unberthing. Propulsion units of such a design can be found today on board high-speed crafts. However, a similar possibility can be also applied on board crafts with different azimuthal thruster design. Sophisticated equipments enable a very simple directing of crafts; the navigator on the navigating bridge has to put the joystick in the right position. According to the pre set programmed patterns, the aimed move and ship's speed is determined. On board older ships or when the computer is not operable, it is necessary to turn the propelling gears around the vertical axis and adjust the propulsion thrust manually. The paper aims at presenting vectorial and analytical patterns determining the water jet angle and thruster force by means of which the aimed ship's move will be effected. The number of high-speed craft has been increasing considerably. Therefore, a special attention is to be paid to ships with special manoeuvring characteristics in order to be able to study carefully their manoeuvring problems thus increasing the safety of navigation and the marine environment protection.

Key words: high-speed crafts, manoeuvring efficiency, vectorial and analytical patterns