

Dr. sc. **Dinko Zorović**, red. prof.
Dr. sc. **Serdo Kos**, doc.
Marko Weiner, ing. pomorskog prometa
Visoka pomorska škola
Studentska 2, Rijeka

Izvorni znanstveni rad
UDK: 621.548:629.5.031.32:629.525

PRILOG TEORIJI PORIVA MORSKE JEDRILICE

Premda se vjetar od prapovijesti koristi za pogon plovila, teorija poriva vjetrom nedovoljno je objašnjena. Pojedini autori nastoje poriv koji vjetar daje na jedro u obliku sile, jednostavno podijeliti u nekoliko komponenti od kojih jedna djeluje u smjeru kretanja, drugi pak autori potanko razrađuju posljedice strujanja vjetra uz jedro analizirajući dodatne porive, "uzgone" i slično, zanemarujući osnovni početni razlog kretanja plovila. U ovom radu objašnjava se pogon plovila kao posljedica sile reakcije mase zraka koja se u obliku vjetra sručila na jedro i skrenula prema krmi plovila. Prema tome, pogon vjetrom vrlo je sličan pogonu svakog prometala pogonjena određenim izvorom energije: pogodnim uređajem (vijkom, kotačem) tjera se okolina prema natrag, a reakcijom prometalo biva pogonjeno naprijed pa je kod morske jedrilice izvor energije vjetar, a pogonski uređaj jedro.

Ključne riječi: morska jedrilica, poriv

1. UVOD

Prometala, odnosno tijela koja se kreću, mogu se razvrstati prema različitim kriterijima. Mogu se, primjerice, podijeliti s obzirom na klasičnu Newtonovu mehaniku:

- tijela koja se kreću zbog inercijske sile, dakle prema prvom Newtonovu zakonu
- tijela koja se kreću pod djelovanjem vanjske sile, dakle uz akceleraciju, odnosno prema drugom Newtonovu zakonu.

Ipak, strogo uzevši, nema tijela koje se vlada prema prvom Newtonovu zakonu jer i tijelo koje miruje, ipak rotira zajedno sa zemljom, dakle podvrgnuto je akceleraciji. U ovom radu razmatrat će se tijela koja se kreću pod djelovanjem sile i mijenjaju svoj položaj u odnosu prema okolini.

Ta se pak kretanja mogu podijeliti u dvije kategorije:

- kretanja nasumce, prema nekakvim zakonitostima bez utjecaja volje čovjeka
- ciljno kretanje prometala po želji čovjeka.

Ponovno, posljednja su kretanja predmet ovog rada. Idući dalje, mogu se podijeliti opet u dvije kategorije:

- s vlastitim pogonom
- bez vlastitoga pogona.

Prometala bez vlastita pogona ili su vučena ili su gurana. Mehanikom kretanja jednostavno se objašnjava: sile djeluju u cijelosti, ili barem jedna njihova komponenta, u smjeru kretanja te se njezinim djelovanjem svladava trenje i/ili postiže ubrzanje/usporenje. To su npr. tegljena ili vučena vozila i brodovi, dizala...

Prometala s vlastitim pogonom mogu se dalje podijeliti u dvije kategorije:

- sa strojem bez uređaja za pokretanje
- sa strojem kojemu je potreban neki uređaj koji omogućuje pokretanje.

Tipičan su primjer prvih prometala zrakoplovi na mlazni pogon, rakete, itd. Eksplozivno sagorijevanje u motoru tlači na sve strane komoru podjednako, osim prema natrag gdje je otvorena. Sile na bočnim stranama komore međusobno se poništavaju, a sila prema naprijed pogoni zrakoplov.

Strojevi na prometlima kojima je potreban malen uređaj za pokretanje raznorazni su: vijak na brodovima i klipnim zrakoplovima, kotači na vozilima te mnoštvo drugih mogućnosti. Svi ti uređaji za pokretanje postižu pokretanje osnovnog prometala prema trećem Newtonovu zakonu mehanike: uređaj tjera okolinu nazad, a prometalo poradi reakcije ide naprijed.

Morska jedrilica pogonjena je vjetrom, dakle pogonjena je izvana. Vjerojatno zato razni su autori pokušali pogriješno objasniti pogon jedrilice zbog djelovanja vjetra jednostavnim djelovanjem sile vjetra na jedro.

2. CILJ RADA

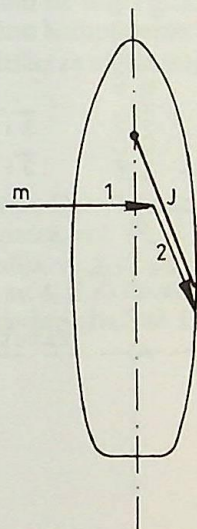
U ovom radu želi se objasniti kretanje morske jedrilice zbog djelovanja vjetra. Uzet će se najjednostavniji oblik jedra, poput ravne ploče na koju djeluje bočni vjetar. Vjetar malo u pramac od bočnog, a isto tako i krmeni vjetar, uzet je kao poseban slučaj bočnog vjetra.

3. POGON MORSKE JEDRILICE VJETROM

Većina postojeće literature [1, 2, 3] bavi se raznim modalitetima djelovanja vjetra na jedro, djelovanje kobilice, kormila itd. U ovom radu analizirat će se djelovanje vjetra na jedro koje je, jednostavnosti radi, aproksimirano ravnom pločom. Kobilica ne dopušta da jedrilica dobije zanos. Isto tako, zanemarit će se djelovanje kormila, tendencija rotacije trupa oko vlastite osi (naginjanje), te oko vertikalne osi (promjena kursa) zbog promjene jačine vjetra, te oko poprečne osi (promjena trima) poradi toga što je težište pogona visoko u jedru, a hvatište otpora broda u podvodnom dijelu trupa.

Vjetar je kretanje zračnih masa. Zračna masa u strujanju u atmosferi ima smjer prikazan strjelicom 1 kao na slici 1. Zračna masa "m" (strjelica 1) ima količinu gibanja: $m \cdot v$, gdje je "v" brzina vjetra. Zračna masa uvjetno je nestlačiva i nakon

neelastičnoga sraza s jedrom (J) nastavlja se gibati u smjeru strjelice (2). Zrak je elastičan, no nakon što jedna masa udari u jedro, ona se stlači ali se ne odbija jer na nju djeluje novodolazeća masa zraka, na ovu pak nova, itd. pa se ona ne može od jedra odbiti, već nastavlja gibanje u smjeru (2). Tijekom klizanja zraka duž jedra u smjeru (2) tlak u masi zraka opada, zrak povećava volumen (elastičan je) i poprima prvotni volumen (i gustoću) tek nakon dužeg vremena nakon što je napustio jedro.



Slika 1. Djelovanje vjetra na jedro

Smjer kretanja vjetra nakon sraza strjelica (2) determiniran je položajem jedra. Smjer djelovanja količine gibanja daje silu na jedro u smjeru 1, slika 2. Ta sila ne izaziva kretanje jedrilice. Nakon neelastičnoga sraza, masa zraka nastavlja svoj put u smjeru 2. Dakle, vjetar ulazi smjerom i količinom gibanja 1 u jedro, a izlazi iz jedra smjerom i količinom gibanja 2. Rezultat toga djelovanja uzrokuje gibanje jedrilice. Upadna količina zraka jednaka je skrenutoj količini, međutim skrenuta količina gibanja zraka manja je od upadne količine gibanja jer se dio utrošio na količinu gibanja jedrilice. Budući da je masa zraka uvijek ista, mogla se promijeniti samo brzina izlazne mase zraka, koja je zbog toga manja za iznos vektorske razlike: $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 - \vec{v}_3$, gdje je: \vec{v}_2 – brzina izlazne mase zraka, \vec{v}_1 – brzina ulazne mase zraka; \vec{v}_3 – brzina gibanja jedrilice.

Također količina gibanja zraka (1) je: $m_1 \vec{v}_1 = m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3$, gdje je:

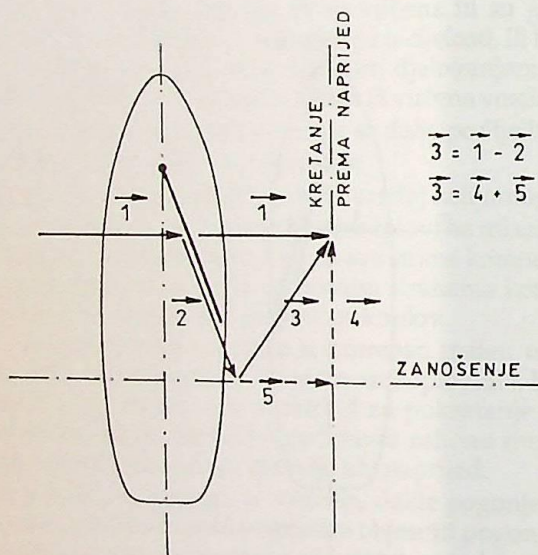
$m_1 \vec{v}_1$ – količina gibanja zraka (1)

$m_2 \vec{v}_2$ – količina gibanja zraka (2)

$m_3 \vec{v}_3$ – količina gibanja jedrilice.

Ako je količina gibanja zraka (1) jednaka količini gibanja zraka (2), tada je jedrilica nepomična, tj. vezana za kraj s raspetim jedrom ($\vec{v}_3 = 0$), pa je $m_1 \vec{v}_1 = m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3 = m_2 \vec{v}_2$. U svim ostalim slučajevima količina gibanja zraka (2) uvijek je manja od količine gibanja zraka (1).

Daljnjom analizom dolazi se do sljedećeg: zbog promjene smjera količine gibanja iz smjera (1) u smjer (2), potrebno je djelovanje (3), tako da je $\vec{1} = \vec{2} + \vec{3}$



Slika 2. Shematski prikaz poriva morske jedrilice

Količinu gibanja $\vec{3}$ moguće je smatrati određenom vrstom reakcije na količinu gibanja $\vec{2}$. Ona se može podijeliti u dvije komponente: komponentu u smjeru kretanja jedrilice $\vec{4}$ i komponentu u smjeru zanošenja $\vec{5}$. Komponenta $\vec{4}$ pogoni jedrilicu naprijed, a komponenta $\vec{5}$ zanosí jedrilicu. Komponenti koja zanosí jedrilicu $\vec{5}$, suprotstavlja se kobilica jedrilice, kormilo i površina uzdužna presjeka trupa.

Konačno, povuče li se paralela sa slučajevima prometala koji se kreću na osnovi trećeg Newtonova zakona, dolazi se do zaključka da je jedro na jedrilici "uređaj za pokretanje", a da je vjetar "unutarnji stroj jedrilice".

4. ZAKLJUČAK

Na osnovi svega dosad iznesenog, mogu se izvesti ovi zaključci:

1. Ne može se objasniti pogon jedrilice samo na osnovi sile koju vjetar izaziva djelujući na jedro.
2. Pogon jedrilice može se objasniti djelovanjem količine gibanja (umnožak mase i brzine) zraka u vjetru.

3. Nakon upada na jedro (neelastični sraz), vjetar mijenja smjer i klizi niz jedro prema krmu.

4. Upadna količina zraka jednaka je skrenutoj količini zraka, a skrenuta količina gibanja zraka manja je od upadne jer se dio utrošio na količinu gibanja jedrilice.

5. Reakcija promjene količine gibanja jednaka je vektorskoj razlici ulazne i izlazne količine gibanja.

6. Reakcija promjene količine gibanja zraka može se dalje podijeliti u dva smjera; komponentu okomitu na smjer gibanja jedrilice i ta komponenta izaziva zanošenje jedrilice, i uzdužnu komponentu koja pogoni jedrilicu naprijed.

7. Vjetar je stroj u jedrilici za njezin pogon, a jedro je uređaj koji omogućava pokretanje jedrilice.

LITERATURA

- [1] B. Bond, Sve o jedrenju, Delo, Ljubljana, 1989.
- [2] Encyclopaedia Britannica, vol. 19, W. Benton, 1964.
- [3] Pomorska enciklopedija, sv. 3, drugo izdanje, JLZ, Zagreb, 1976.
- [4] Opća enciklopedija, sv. 4, JLZ, Zagreb, 1978.
- [5] The World Book Encyclopedia, vol. 17, Scott Fetzer Company, 1994.

Summary

A CONTRIBUTION TO THE THEORY OF SAILING BOAT PROPULSION

Although the wind has been used for propelling water crafts since prehistory, the theory of wind propulsion is still inadequately explained. An attempt has been made by some authors to divide up the thrust exerted on the sail by the wind into several components, one of which acting in the direction of the motion, while some others have worked out in detail the consequence of the wind flow streaming up the sail and analysed additional types of thrust, but neglecting the primary reason of the craft motion. In this paper, the propulsion of a sailing craft is explained as a resultant of the force of reaction of the air mass which, in the form of wind, comes down on the sail and slides back from it abaft the craft. Wind propulsion, is therefore, very similar to the propulsion of a vehicle driven by a specific source of energy: by means of an adequate device (propeller, wheel) the surrounding element is driven backwards, and by reaction the vehicle is driven forwards. By sailing boats the source of energy is the wind and the sail is its adequate device.

Key words: sailing boat, thrust.