

# Manevriranje dvovijčanim brodovima

---

**Miloš, Frane**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:246879>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -  
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for  
permanent storage and preservation of digital  
resources of the institution](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**FRANE MILOŠ**

**MANEVRIRANJE DVOVIJČANIM  
BRODOVIMA**

**ZAVRŠNI RAD**

**SPLIT, 2020.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA**

**MANEVRIRANJE DVOVIJČANIM  
BRODOVIMA**

**ZAVRŠNI RAD**

**MENTOR:**  
**Marijan Zujić, mag.ing.**

**STUDENT:**  
**Frane Miloš**  
**(MB:0171276491)**

**SPLIT, 2020.**

## SAŽETAK

Ovim će se radom obraditi tema manevriranja dvovijčanim brodovima. Na početku će se priložiti kratko upoznavanje sa čimbenicima koji utječu na plovidbu, a zatim sama definicija dvovijčanih brodova i naposljetku njihova komparacija s obzirom na posebnosti u manevriranju.

Manevriranje brodom se u najširem smislu promatra kao upravljanje brodom s ciljem izbjegavanja sudara ili udara. Ipak, ispravnije je reći kako je manevriranje vještina koja iziskuje veliko iskustvo, a upotrebljava se prilikom veza, sidrenja, pristajanja uz obalu/uređeno pristanište ili gat i u nekim drugim specifičnim situacijama. Specifični slučajevi tj. izvanredne situacije mogu biti manevriranje prilikom požara na brodu, prodor vode, tegljenje ili pak plovidba po nevremenu i olujnom moru. Za vješto manevriranje potrebno je dobro teoretsko znanje o manevarskim sposobnostima broda te o čimbenicima koji na njega utječu. Za uspješno manevriranje nužno je poznavati te čimbenike bili oni vanjski kao što su utjecaj struje, vjetra i plitke vode ili unutrašnji kao utjecaj vijaka, kormila ili veznih konopa. Cilj ovog rada je upoznati se s osobinama različitih dvovijčanih brodova.

U konačnici, zaključak će biti rezerviran za koncizan osvrt na cjelokupnu temu u cilju iznošenja mojih stavova o tome koji je tip dvovijčanog broda najučinkovitiji s aspekta manevarskih sposobnosti.

**Ključne riječi:** *vijak, dvovijčani brod, izboj, kormilo*

## **ABSTRACT**

This paper will address the issue of maneuvering twin-propeller vessels. At the beginning, a brief introduction of the factors influencing navigation will be attached, followed by the very definition of twin-propeller ships and finally their comparison with regard to the peculiarities of the maneuvering itself.

Maneuvering a vessel in the broadest sense is seen as steering a ship with the objective of avoiding collision or impact. However, it is more correct to say that maneuvering is a skill that requires a lot of experience, and is used when mooring, anchoring, docking along the shore / regulated pier or pier and in some other specific situations. Specific cases, i.e. emergencies, can be maneuvering in the event of a fire on a ship, water intrusion, towing or sailing in severe weather and stormy seas. Skillful maneuvering requires good theoretical knowledge of the ship's maneuverability and the factors that affect it. For successful maneuvering, it is necessary to know these factors, whether they are "external" such as the influence of electricity, wind and shallow water or "internal" as the influence of screws, rudders or connecting ropes. The aim of this paper is to get acquainted with the characteristics of various two-propelled ships.

Ultimately, the conclusion will be reserved for a concise review of the whole topic in order to introduce my opinion on which type of twin-propeller ship is most effective in terms of maneuverability.

**Keywords:** *propeller, twin-propeller vessels, transverse thrust, rudder*

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA MANEVRIRANJE BRODOM</b> .....	<b>3</b>
2.1. UTJECAJ UNUTRAŠNJIH SILA NA MANEVRIRANJE BRODOM .....	3
2.2. UTJECAJ VANJSKIH SILA NA MANEVRIRANJE BRODOM .....	4
2.3. UTJECAJI OSTALIH SILA NA BROD .....	6
<b>3. BROD S DVA VIJKA (DVOVIJČANI BRODOVI)</b> .....	<b>8</b>
3.1. TEORIJA RADA VIJKA.....	8
3.2. MEĐUSOBNI UTJECAJ VIJKA I TRUPA BRODA.....	11
3.3. BOČNA SILA KOD DVOVIJČANIH BRODOVA .....	13
3.4. SILA KORMILA KOD DVOVIJČANIH BRODOVA.....	13
3.5. SILA PORIVA KOD DVOVIJČANIH BRODOVA .....	14
3.6. REZULTANTA SILA NA KRMI KOD DVOVIJČANIH BRODOVA .....	15
<b>4. MANEVARIRANJE DVOVIJČANIM BRODOVIMA</b> .....	<b>17</b>
4.1. MANEVAR PRISTAJANJA .....	17
4.1.1. PRISTAJANJE UZ OBALU DVOVIJČANIM BRODOM PO LIJEPOM VREMENU I MANEVAR ISPLOVLJAVANJA.....	19
4.1.2. PRISTAJANJE UZ OBALU DVOVIJČANIM BRODOM PRI VJETRU ILI STRUJI I MANEVAR ISPLOVLJAVANJA.....	19
<b>5. ČIMBENICI KOJI DEFINIRAJU MANEVARSKO SPECIFIČNOSTI DVOVIJČANIH BRODOVA</b> .....	<b>22</b>
5.1. EKSCENTRIČNI POLOŽAJ VIJKA .....	22
5.2. IZBOJ KRME .....	23
5.3. TLAČNO-USISNI UČINAK VIJKA .....	24
5.4. UČINAK VIJČANOG MLAZA NA TRUP BRODA.....	25
5.5. UČINAK VIJČANOG MLAZA NA KORMILO BRODA.....	26
<b>6. SPECIFIČNOSTI U MANEVRIRANJU RAZLIČITIM DVOVIJČANIM BRODOVIMA</b> .....	<b>27</b>
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>31</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>32</b>
<b>INTERNETSKI IZVORI</b> .....	<b>33</b>

<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>34</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>35</b>
<b>POPIS KRATICA.....</b>	<b>36</b>

# 1. UVOD

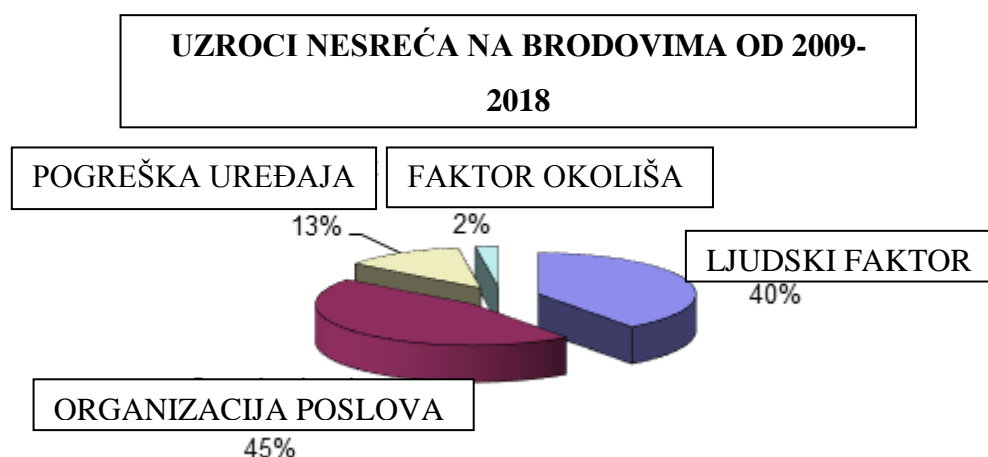
Tema ovog rada bavi se definiranjem i analizom raznih čimbenika koji utječu na manevriranja brodom. Velik broj čimbenika utječe na samo manevriranje, a na pomorcu je da te učinke eliminira, izbjegne ili preokrene u svoju korist. Rukovanje brodom tj. manevriranje brodom zahtjeva određenu kompetentnost, vještinu i odgovornost. U radu će se obraditi teorija o samom radu vijka, a potom i usporediti manevarske specifičnosti različitih dvovijčanih brodova. Cilj rada je definirati, analizirati i objasniti manevarske sposobnosti dvovijčanih brodova te prikazati sve prednosti i nedostatke istih. Također će kroz cijeli rad biti prisutna jezgrovita komparacija između dvovijčanih brodova i brodova s jednim vijkom.

U uvodnom dijelu opisan je sam pojam manevriranja, dok su u drugom poglavlju opisani najznačajniji čimbenici koji utječu na manevriranje broda (vanjski i unutrašnji čimbenici). U trećem poglavlju priložit će se definicija te općeniti pojmovi o dvovijčanim brodovima, a potom će se staviti naglasak na teoriju rada vijka, na izboj, na bočne sile te sile kormila i poriva. U sljedećem poglavlju će se opisati manevar pristajanja i isplavljanja kod dvovijčanih brodova, gdje će imperativ biti na pristajanju i isplavljanju pri vjetru i/ili struji, ali i po lijepom vremenu. U petom poglavlju će biti nabrojani i opisani čimbenici koji definiraju manevarske osobine dvovijčanih brodova, da bi se u posljednjem poglavlju moglo raščlaniti koja je od postojećih vrsta dvovijčanih brodova najučinkovitija u određenim situacijama. U zaključku se nalaze svi relevantni zaključci doneseni u izradi ovog rada.

Pod pojmom manevriranja brodom podrazumijeva se vještina vođenja broda prilikom pristajanja uz uređeno pristanište/obalu, prilikom veza broda u četverovez i na plutaču, prilikom sidrenja i u posebnim slučajevima. Pod posebne slučajeve podrazumijeva se manevri kao što su spašavanja, nasukavanja, prodora vode, požara te manevriranje pri nevremenu ili prilikom napuštanja broda. Da bi se manevar uspješno izveo, potrebno je poznavati sve bitne čimbenika koji utječu na njegovu uspješnost. Te se čimbenike može podijeliti u tri skupine: manevarske posebnosti broda (djelovanje kormila, vijka, veznih konopa, itd.), utjecaj vanjskih sila i ograničenja (vjetar, struja, akvatorij, itd.), znanje i sposobnosti osobe koja izvodi manevar



Iako uspješnost manevra ovisi o sva tri navedena čimbenika, ipak kod svakog manevra najznačajniji je čovjek sa svojim znanjem, vještinom i iskustvom. Ljudske pogreške najčešći su uzrok pomorskih nesreća, a tehnološkim napretkom sigurnost plovidbe se povećava zahvaljujući uvođenju različitih sustava koji olakšavaju i ubrzavaju donošenje različitih odluka u plovidbi. Na zapovjednički most uvedeni su „pametni“ automatizirani sustavi kako bi omogućili nadzor sustava navigacije i postupaka u strojnici, ali i drugih sustava. Nekada su pomorske nesreće bile znatno češće zbog tehničkih razloga kao na primjer loša tehnološka opremljenost broda, ali danas to nije slučaj jer je tehnološki napredak povećao sigurnost plovidbe i rasteretio pomorca pomoćnih zadataka koje je prije uvođenja ovih sustava trebao raditi. Ipak najbolji primjeri kako ljudski faktor i dalje može prouzročiti katastrofe većih razmjera su suvremene pomorske nesreće. Za izvođenje aktivnosti na zapovjedničkom mostu izravno utječe i njegova ergonomija te su tako donesene procedure za poboljšanjem ergonomije ne samo zapovjedničkog mosta, nego i strojnice broda, da bi se mogućnost nastanka pogreške na brodu svela na minimum. Osim potrebnih teorijskih znanja i stečenog iskustva kroz praksu, neki će zapovjednici kod manevriranja biti uspješniji, dok će neki biti manje uspješni, što opet ovisi o psihofizičkim osobinama svakog pojedinca. Važno je napomenuti da se svaka vještina stječe vježbom, pa shodno tomu logično je da će svaki naredni manevr biti lakši i uspješniji. Na Slici 1. prikazano je kako su organizacija poslova i ljudski faktor u 85% slučajeva krivci za nesreće na brodovima, a oba faktora spadaju po ljudsku pogrešku.



**Slika 1. Greška prouzročena ljudskom pogreškom [23]**

## **2. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA MANEVRIRANJE BRODOM**

Kako bi se moglo sigurno upravljati brodom potrebno je poznavati prirodu i veličinu sila koje djeluju na brod. Silama koje djeluju na brod različita je veličina, smjer, orijentacija, ali i izvor sile. Izvori mogu biti: vijak, kormilo, vezni konopi, sidro, struja, vjetar i dr. Ove sile su se generalno podijelile prema izvoru, na unutrašnje i vanjske sile. Bitna značajka ove podjele jest to da se na unutrašnje sile može utjecati tj. kontrolirati ih, dok su vanjske sile neovisne o ljudskoj volji. Vještina, znanje i iskustvo pomorca sastoji se upravo u tome da se učinci tih vanjskih sila izbjegnu ili čak usmjere na način da pomorcu budu korisne. Svaka od gore navedenih sila ima izuzetnu snagu, međutim svaka od njih počinje pokazivati svoje djelovanje onog momenta kada svlada moment tromosti ili inercije broda. Što je brod duži, teži i masivniji, ima i veći moment tromosti. Brod se kreće kroz dva medija (zrak i vodu), a svaki od ta dva medija pruža otpor stvarnom ili relativnom kretanju broda. Kretanje će se ostvariti onog trenutka kada neka od sila svlada silu otpora broda.

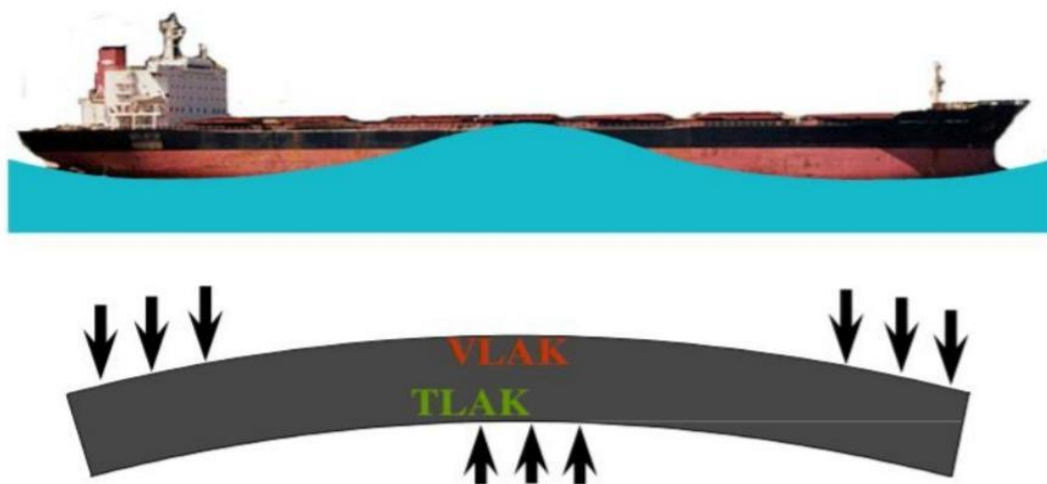
### **2.1. UTJECAJ UNUTRAŠNJIH SILA NA MANEVRIRANJE BRODOM**

Sile koje dolaze s broda kao npr. sile vijka, kormila, sidra, veznih konopa i druge sile nazivaju se unutrašnjim silama. Vijak je najčešći oblik propulzije, a razlikuju se desnokretni i lijevokretni vijak. Stražnji dio vijka u vožnji pramcem (prema naprijed) naziva se tlačna površina krila, a prednji se dio naziva usisna površina krila vijka. Brid koji sječe vodu u vožnji pramcem naziva se ulazni brid, dok se njemu nasuprotni brid naziva izlaznim. Vijak pri radu proizvodi više sila od kojih je jedino korisna sila poriva. Ona je po snazi najjača i čini ukupno više od 95% energije koju proizvede vijak. Dok se brod kreće pramcem dolazi do izrazitog pada tlaka na prednjoj plohi lista vijaka, dok na stražnjoj tlak raste. Pad tlaka na usisnoj strani veći je od rasta tlaka na tlačnoj strani, zbog čega usisna strana vijka ostvaruje veći dio poriva. Svojim okretanjem vijak uzrokuje spiralno gibanje čestica vode koje se odbijaju od gornje i donje plohe kormila. Čestice vode koje udaraju u donju plohu kormila proizvode veću silu zbog većeg tlaka na većoj dubini. Kao posljedica djelovanja ove sile brodovi s jednim vijkom će imati izboj krme u stranu u kojoj se vrti vijak (desnokretni vijak će imati izboj krme u desno). Teoretski dvovijčani brodovi ne bi trebali imati izboj krme. Sila otpora ili bočni otpor se javlja zbog toga što pojedina krila

vijka rade istovremeno na različitim dubinama te time imaju različiti otpor na svakom pojedinom krilu.

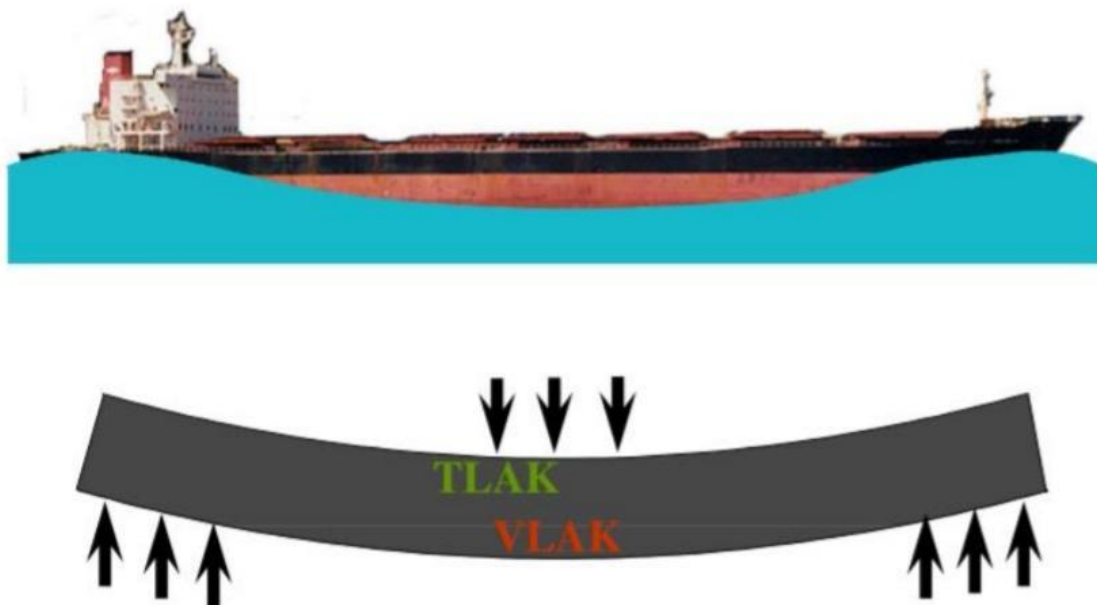
## 2.2. UTJECAJ VANJSKIH SILA NA MANEVRIRANJE BRODOM

Sile koje su neovisne o ljudskoj volji nazivaju se vanjske sile. To su sile na čije postojanje čovjek ne može utjecati, ali uz iskustvo, znanje i vještinu može njima manipulirati. Najznačajniji utjecaji vanjskih sila su: utjecaji sila vjetra, struje i valova. Vjetar djeluje na brod na način da ga nastoji okrenuti u smjeru zavjetrine (od vjetra). Ta je sila proporcionalna kvadratu brzine vjetra, a ovisi o poprečnom presjeku broda tj. površini na koju djeluje. Učinak vjetra se može smanjiti konstrukcijskim rješenjima nadvodnog djela broda (što je nadvođe veće to je učinak vjetra veći). Ako brod ima dubok gaz a površina nadvodnog djela ima malenu površinu na koju vjetar može okomito djelovati tada je učinak sile vjetra minimalan. Svakom brodu koji vozi krmom krma se okreće u vjetar zbog pomicanja točke okreta za jednu trećinu iza krme. Iz toga slijedi da je krak okreta veći te se time automatski povećava i moment okreta. Utjecaj valova na manevriranje usko je povezan sa utjecajem vjetra, jer je jedan od osnovnih čimbenika za nastajanje valova vjetar. Na Slici 2. prikazan je moment naprezanja brodske konstrukcije koji teži savijanju broda sredinom prema gore, a krmom i pramcem prema dolje. Drugim riječima višak mase na krajevima dovodi do povećanja uzgona na sredini, a to nazivamo pregib broda.



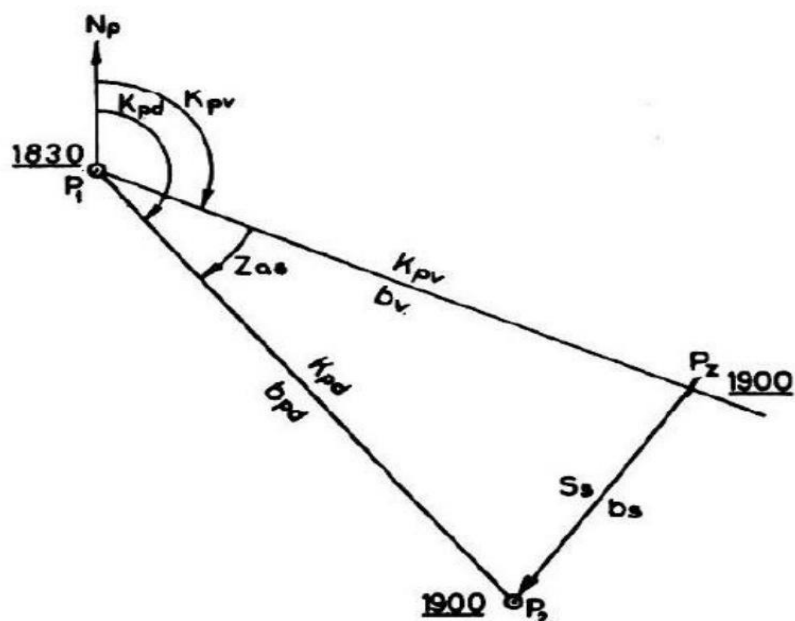
Slika 2. Pregib – naprezanje na brijegu vala [13]

Na Slici 3. prikazana je obrnuta situacija tj. situacija kada je moment naprezanja brodske konstrukcije koji teži savijanju broda sredinom prema dolje. Drugim se riječima može reći da višak mase na sredini broda dovodi do povećanja uzgona na krajevima, a to nazivamo progib broda.



**Slika 3. Progib – naprezanje na dolu vala [13]**

Struja je također značajna sila koja djeluje na brod. Ona djeluje na podvodni dio broda po sličnom principu kao što i vjetar utječe na nadvodni dio broda. Međutim rezultanta brzine uvijek je veća kod učinka struje zbog gustoće medija u kojem se kreće podvodni dio broda. Otpor podvodnog djela broda struji vode proporcionalan je kvadratu brzine struje i presjeka oblika podvodnog djela broda koji je suprotstavljen toku struje. Kada brod mijenja brzinu kroz vodu (STW, *Speed through water*) treba imati na umu kako je brzina struje uglavnom konstanta te da utječe na brod na način da ga ili zanosi ili usporava ili ubrzava. Mjerodavniji je podatak brzina preko dna (SOG, *Speed over ground*). Slična je situacija i sa kursom. Kurs preko dna (COG, *Cours over ground*) je rezultanta zajedničkog djelovanja kursa kroz vodu (CTS, *Cours to Steer*) i smjera struje. Kut zanosa je kut kojeg zatvaraju kurs kroz vodu (CTS, *Cours to Steer*) i kurs preko dna (COG, *Cours over ground*), također ovisi i o smjeru djelovanja struje.

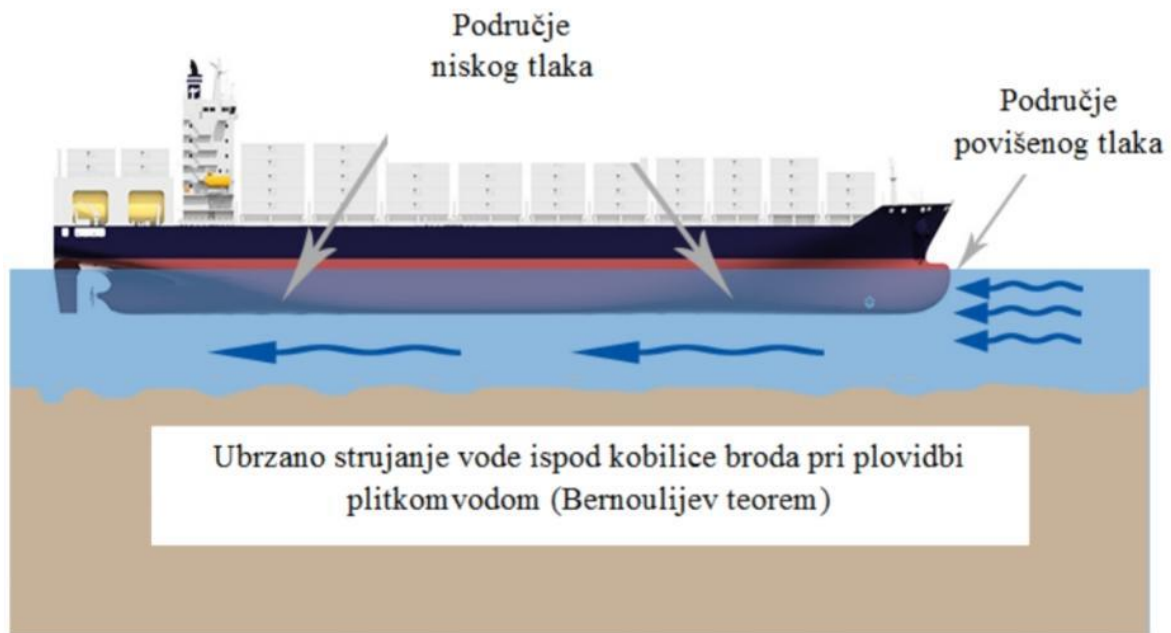


Slika 4. Učinak struje na kurs kroz vodu i brzinu kroz vodu [4]

### 2.3. UTJECAJ OSTALIH SILA NA BROD

Ostale sile koje utječu na manevriranje broda javljaju se kada brod plovi u plitkim voda, kada se nagne po poprečnoj ili uzdužnoj osi i pri plovidbi po valovima. Učinci ovih sila se javljaju zbog promjene u površini uronjenog djela broda i zbog promjena u tlaku. Kada brod plovi i nije nagnut ni na jednu stranu s obje strane djeluju potpuno jednaki pritisci. Međutim kada dođe do naginjanja zbog bilo kojeg razloga pritisci se mijenjaju zbog promjene u uronjenoj površini. Tlak na strani nagiba se povećava te će zbog toga brod skretati u suprotnu stranu od one na koju je nagnut. Ovo je vrijedilo za gibanja koja se odnose na uzdužnu os broda. Utjecaj nagiba broda oko poprečne osi se očituje u smanjenju brzine. Pri pramčanom trimu pramac broda više zaroni i time se povećava otpor što uzrokuje smanjenje brzine. Brod je konstruiran za plovidbu po ravnoj kobilici zato svaki trim (pramčani, krmeni) negativno utječu na brzinu plovidbe. Ploveći u plitkim vodama brod potiskuje veliku količinu vode ispred sebe i istovremeno je razdvaja pramcem. Ovo se događa i pri plovidbi na otvorenim morima, ali pri plovidbi u plitkim vodama treba uzeti u obzir da brod gurajući vodu ispred pramca formira velike valove što za rezultat daju područje visokog tlaka koji se nalazi ispred broda. Voda koja formira vodeni brijeg tj. voda koja se nalazi ispred broda treba proći prema krmu. Dva su načina kako ta voda može doći do krme, a to je ili ispod broda ili uz bokove broda. Strujanje vode ispod broda iz smjera

pramca prema krmi je ubrzano što uzrokuje opadanje tlaka ispod broda, a samim time i dublje uronuce broda. Ova pojava je veoma učestala u plitkim vodama, a naziva se još brodski čučanj ili *squat*.



**Slika 5. Brodski čučanj u plovidbi plitkim vodama [14]**

Prema *Bernoullijevom teoremu*, povećanje brzine strujanja vode u relativno uskim područjima (s obzirom na brzinu strujanja i tlak) utječe na pad tlaka u tim istim područjima. Plovidbom po uzburkanom/valovitom moru negativno utječe na samu brzinu i manevarske sposobnosti broda. Pri jačem valjanju i posrtanju broda može se dogoditi da kormilo izađe iz vode te se tako tlak vode na plohu kormila gubi. Kada vijci izađu iz vode njihovo okretanje se ubrzava zbog slabijeg otpora u mediju, a u tim situacijama strojevi mnogo trpe. Ljuljanje povećava otpor broda, a zbog nejednakog otpora na obje strane brod skreće sa kursa.

### **3. BROD S DVA VIJKA (DVOVIJČANI BRODOVI)**

Dvovijčane brodove definira to da su im brodske osovine smještene bočno, što znači da je jedan vijak desno, a drugi lijevo. U vožnji pramcem vijci se okreću prema van što znači da je desni vijak desnokretni, a lijevi ljevokretni. S ovakvim modelom rezultirajuće sile na krmu se poništavaju i time se izbjegavaju mnogi nedostaci brodova s jednim vijkom. Prema tome brodovi sa dva vijka imaju značajnu prednost nad brodovima s jednim vijkom s gledišta manevriranja. Osim toga brodovi sa dva vijka uvijek imaju alternativu u slučaju kvara na jednom stroju dok su brodovi s jednim vijkom osuđeni na milost i nemilost vanjskih sila. Brod s dva vijka je mnogo okretniji, brži i sve dok oba vijka istodobno rade naprijed ili natrag nema izboja. Međutim, ako vijci rade na način da se jedan vijak okreće za plovidbu pramcem, a drugi za plovidbu krmom tada izboj zbog djelovanja jednog i drugog vijka djeluju u istu stranu i taj izboj će biti uvelike pojačan. Prema tome kod brodova s dva vijka postoje dva idealna slučaja, prvi je da uopće nema sile izboja kad oba vijka rade naprijed ili krmom, a drugi je da obratnim radom vijka možemo postići snažan izboj ako se to želi.

#### **3.1. TEORIJA RADA VIJKA**

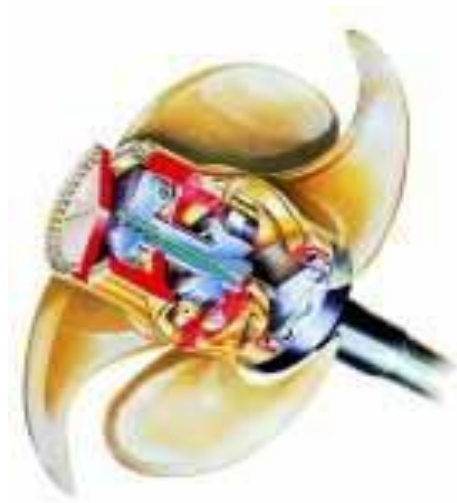
Kako bi se brod doveo u stanje gibanja potrebno je proizvesti silu koja će svladati silu otpora. Ta se potrebna sila dobiva napravama ili mehanizmima koji se općenito nazivaju propulzorima. Prvi propulzori su bili vesla i jedra, da bi se tek početkom 19. stoljeća počelo eksperimentalno uvoditi mehanička propulzija. *Josef Ressel* sproveo je 1828. god. ispitivanje u Trstu na brodu duljine 18 m. Probna vožnja je trajala oko 10 minuta nakon čega je eksplodirala cijev za paru. Taj vijak imao je oblik *Arhimedova puža* kao i niz kasnije patentiranih. Kod suvremenih brodova vijak je najrašireniji tip broskog propulzora, a može se kazati kako je gotovo jedino sredstvo poriva. Danas su najzastupljeniji vijci sa fiksiranim krilima ili vijci s nepromjenjivim korakom, zbog mnogih prednosti kako što su jeftinija cijena, manja podložnost kvarovima i kavitaciji.



**Slika 6. Vijak s fiksnim korakom [6]**

Oni proizvode poriv stvarajući silu dizanja na svojim krilima. Presjek krila brodskog vijka sličan je presjeku zračnog krila. Krila propelera vrlo su pogodna za nastanak kavitacije. Zbog toga je propeler potrebno projektirati posebno za svaki tip broda. Porivom i brzinom broda upravlja se brojem okretaja vijka. Vijak s prekretnim krilima uvelike poboljšava propulzivna svojstva broda.

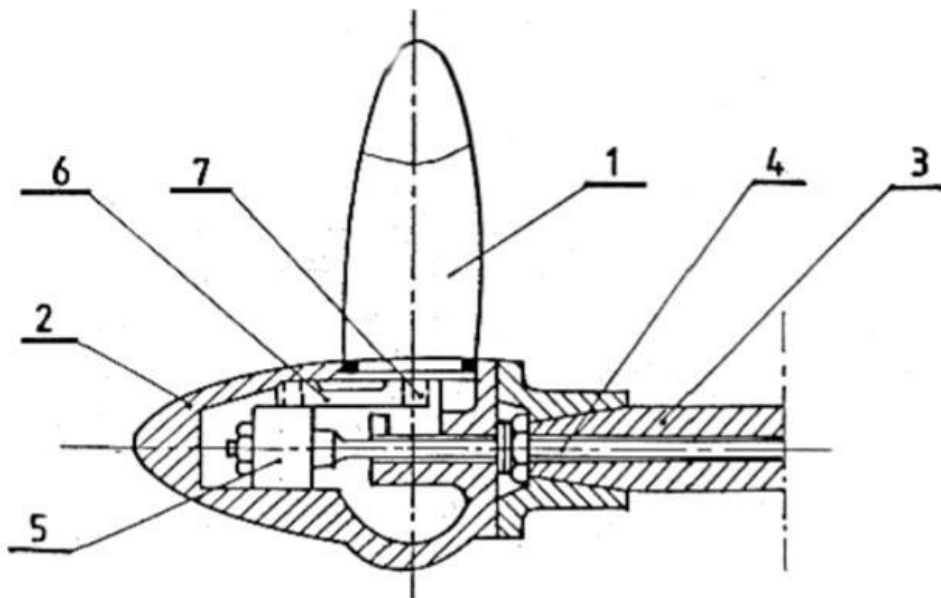
Kod vijaka s promjenjivim usponom (eng. *controllable pitch propeller* - CPP), prikazanim na Slici 6. porivom se upravlja mijenjajući uspon vijka odnosno kut zakreta krila.



**Slika 7. Vijak s promjenjivim korakom [6]**



Osovina vijka s promjenjivim korakom obično se okreće konstantnim brojem okretaja. Ovi se vijci najviše koriste pri promjenjivim režimima plovidbe i uvjetima rada kao što su slobodna vožnja i tegljenje. Njegova ugradnja je isplativa za brodove koji trebaju imati dobru upravljivost (manevrabilnost) kao i za pogone s ugrađenim osovinskim generatorom. Prekretanje, odnosno promjena smjera poriva ostvaruje se zakretanjem krila i to obično pri konstantnom broju okretaja što je poprilično spor proces. Vijci s promjenjivim korakom imaju samo jedan projektni korak pri kojem imaju najveću iskoristivost. Tijekom plovidbe krila se pomoću posebnih mehanizama mogu zakretati po vertikalnoj osi. To uvelike olakšava manevriranje jer za vožnju krmom ili zaustavljanje broda nije potrebno prekretati pogonski stroj odnosno smjer vrtnje vijka. Brodska osovina uvijek rotira u istom smjeru. Dijelovi vijka s prekretnim krilima su: (1) krilo vijka, (2) glavčina, (3) osovina vijka, (4) poluga za prekretanje krila, (5) klip, (6) radilica, (7) osnac, a prikazani su na Slici 7.



**Slika 8. Dijelovi vijka promjenjivog koraka [12]**

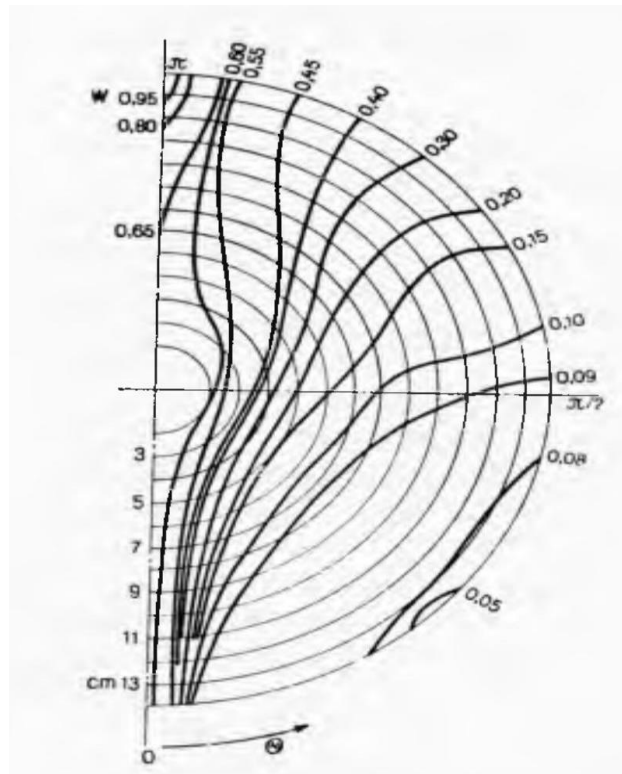
Kod razmatranja teorija o radu vijka polazi se od pretpostavke da vijak uvijek miruje a da se voda kreće, odnosno struji. Kad se ne simetrično tijelo kao što je brodski vijak, odjedanput nađe u struji homogenih i usporednih strujnica vode za očekivati je da će krilo vijka poremetiti homogenost i brzinu strujanja strujnica. Mjerenjem brzine struje na prednjim i stražnjim dijelovima krila vijka ustanovilo se da je strujanje uz prednji dio puno brže nego li uz zadnji dio krila. Zbog poremećaja homogenosti usporednih strujnica vode

dolazi do tzv. cirkularnog strujanja vode. Prema *Bernoullijevom* zakonu iz fizike svaka čestica vodene mase koja je u gibanju ima neku količinu energije, ta energija može biti iskazana kao potencijalna ili kinetička. Iz toga slijedi da će na stražnjoj strani krila vijka biti visok tlak i stoga će se ona zvat tlačna strana, a na prednjoj strani će biti nizak pritisak pa će se ona nazivat usisna strana. Rezultanta djelovanja kružnog i usporednog gibanja sastoji se od dvije komponente od kojih jedna djeluje u smjeru osi vijka a druga okomito na nju. Ova komponenta koja djeluje u smjeru osi vijka daje brodu poriv. Može se zaključiti kako brodu ne daje poriv samo okretanje vijka u vodi, već kružno i usporedno strujanje vode, zbog čega i nastaje razlika u tlakovima. Zbog snažnog podtlaka koji se na taj način javlja na usisnoj strani vijka, veći dio poriva snosi baš usisna strana.

### **3.2. MEĐUSOBNI UTJECAJ VIJKA I TRUPA BRODA**

Brzina strujanja vode na krmi je u pravilu manja od brzine kretanja broda. Razlog tomu je širenje strujnica na krmenom djelu broda i ubrzanje čestica tekućine u smjeru vožnje broda. Ubrzanje čestica tekućine izazvano je trenjem između vode i brodske oplata. Brzina strujanja vode je naziv za razliku između brzine broda i brzine strujanja čestica vode uz krmu ili može se još kazati da se sustrujanjem naziva razlika brzine broda i brzine napredovanja vijka. Kada se vijak nalazi na krmi broda brzina napredovanja vijka postaje brzinom dostrujavanja vode vijku. Zbog sustrujanja vode, brzina dostrujavanja vode vijku manja je od brzine broda. Srednje sustrujanje u ravnini diska vijka dobije se integracijom polja sustrujanja unutar diska vijka. Budući da je sustrujanje promjenjivo, proizlazi da je i brzina dostrujavanja vode vijku promjenjiva. Pojavu sustrujanja izazivaju ova tri faktora: trenje i stvaranje graničnog sloja, nesimetričnost između potencijalnog strujanja na pramčanom i na krmenom djelu broda i stvaranje valova na krmenom dijelu. Iz toga slijedi da se koeficijent strujanja može podijeliti na tri komponente: *koeficijent sustrujanja trenja*, *koeficijent potencijalnog sustrujanja* i *koeficijent sustrujanja valova*. Najbitnije sustrujanje od ova tri je sustrujanje trenja. Samo kod izrazito brzih brodova najdominantnije sustrujanje može biti sustrujanje valova. Ono može biti negativno ili pozitivno jer ovisi o tome nalazili se brijeg ili dol vala na krmi. Brzina sustrujanja predstavlja brzinu pritjecanja vode vijku ili translatornu brzinu vijka s obzirom na vodu u okolini. Može se reći kako je to srednja brzina jer je sustrujanje na površini diska vijka obodno ili radijalno nejednoliko. Zato je u različitim točkama ravnine vijka lokalna brzina pritjecanja vode različita i po

veličini i po smjeru. Zbog obodne i radijalne nejednolikosti strujnog polja i zbog promjene i zbog promjene smjera strujanja stalno se mijenja napadni kut na svakom elementu krila vijka, pa je po krmu broda stupanj iskoristivosti i djelovanja vijka drugačiji od stupnja djelovanja vijka u slobodnoj vožnji, premda su srednje brzine pritjecanja vode jednake. Kod jednovijčanih brodova je nejednoliki radijalni raspored brzina takav da se mjesta najvećeg lokalnog poriva podudaraju sa mjestima najveće brzine pritjecanja vode zbog čega stupanj djelovanja vijka redovito poraste kad je vijka iza kreme broda. Zato je koeficijent prijelaza kod jednovijčanih brodova nešto veći nego li u dvovijčanih. Kod jednovijčanih brodova taj koeficijent iznosi od 1,02 do 1,07 (kao srednju vrijednost uzima se 1,05), tj. stupanj djelovanja vijka po krmu broda je prosječno za 5% bolji nego li u slobodnoj vožnji.



**Slika 9. Raspored sustrujanja iza jednog vijka dvovijčanog broda [22]**

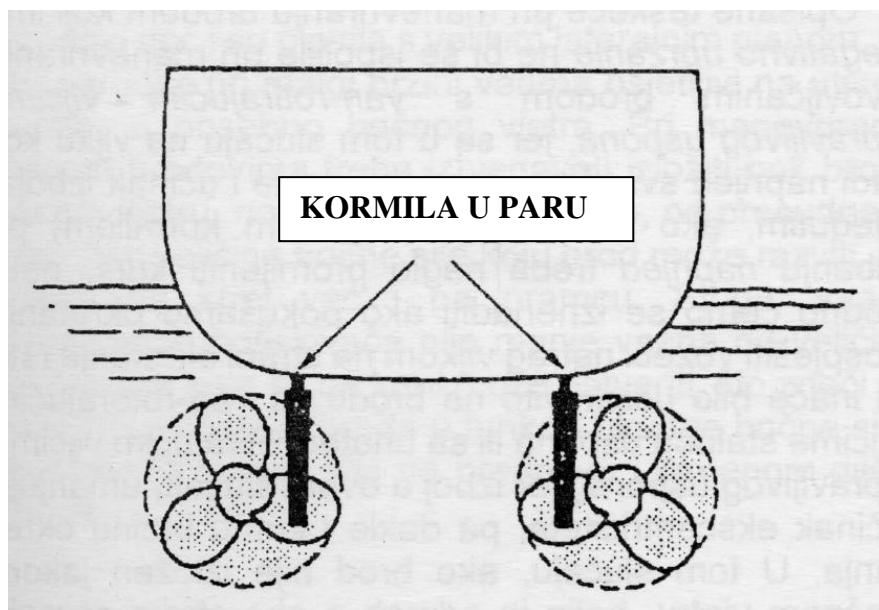
Za dvovijčane brodove ovaj koeficijent iznosi između 0,95 i 1,0 (kao srednju vrijednost uzima se 0,97), što bi značilo da je stupanj djelovanja vijka kod dvovijčanih brodova u prosjeku 3% slabiji nego li u slobodnoj vožnji, a prosječno 8% slabiji nego li kod jednovijčanih brodova.

### **3.3. BOČNA SILA KOD DVOVIJČANIH BRODOVA**

Kod brodova sa dva vijka u slučaju da se oba vijka okreću za vožnju naprijed ili za vožnju krmom, bočne sile se poništavaju pa krma nema izboj. Važno je naglasiti kako je postojanje bočnih sila prisutno jednako kao i kod brodova s jednim vijkom, samo su zbog obrnute rotacije vijaka kod dvovijčanih brodova te se sile međusobno poništavaju. Međutim čim se jedan vijak okreće za vožnju pramcem, a drugi za vožnju krmom, pojavljuje se i bočna sila, pa treba rad svakog vijka analizirati posebno. Poznato je da će bočna sila za vožnju pramcem biti mala, dok će se jaka bočna sila pojaviti prilikom vožnje krmom. Izbijanje krme zbog bočne sile uvijek potpomaže okretanje broda s dva vijka. Na primjer, kad desni stroj radi za vožnju po pramcu, a lijevi za vožnju po krmu, brod s dva vijka okreće se gotovo na mjestu u lijevo. Isto situacija se događa i u obrnutom smjeru kad se brod s dva vijka okreće u mjestu u desno, samo tad vijak na desnoj strani uzrokuje izboj krme.

### **3.4. SILA KORMILA KOD DVOVIJČANIH BRODOVA**

Kormilo kod brodova s dva vijka smješteno je točno u uzdužnici broda i to neposredno iza vijaka. Kada je kormilo postavljeno u sredinu tada na njega ne djeluje nikakva sila koju su potencijalno proizveli vijci. U slučaju kada kormilo ima mali otklon na njega će utjecati jedino strujanje vode uzrokovano kretanjem broda kroz vodu. Međutim, pod većim kutom kormila, na kraj plohe kormila počinje djelovati struja vijka i to samo na onog na čijoj je strani kormilo. Shodno tomu, pri većem kutu kormila brod će više zakretati tj. pojavit će se veći učinak ako vijak na onoj strani na koju je prebačeno kormilo bude radio za vožnju pramcem. U suvremenoj izgradnji brodova počela su se ugrađivati dva kormila postavljena točno iza vijaka. Upravo zbog tog specifičnog smještaja djelovanje im je uvelike pojačano strujom vijka koji udara izravno na njih. Budući da vijka pri okretanju, ovisno o brzini broda, stvara struju velike brzine koju baca na plohu kormila, struja vijka je jedan od značajnih uzroka koji utječu na djelovanje kormila. Kod suvremenih dvovijčanih brodova česta je pojava uparenih kormila, tj. kormila koji rade u paru. Kao na Slici 10.



**Slika 10. Dvovijčani brod s dva kormila [10]**

Time se povećava djelovanje struje vijka koji udara izravno na njih. Sada nije potreban veći kut otklona kormila da bi struja vijka imala utjecaj na kormilo, već na svako pomicanje kormila brod odgovara promjenom kursa. Ako jedan vijak radi za vožnju po pramcu, a drugi vijak za vožnju po krmi, onaj koji vozi naprijed u svakom slučaju uzrokuje veći učinak na kormilo.

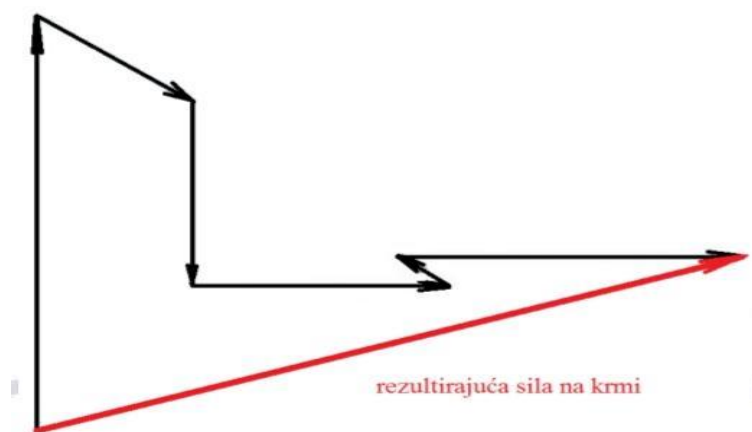
### **3.5. SILA PORIVA KOD DVOVIJČANIH BRODOVA**

Ako jedan vijak radi za vožnju po pramcu, a drugi za vožnju po krmi, nastaje povoljan spreg sila jer su brodske osovine smještene lijevo i desno od uzdužnice broda, zbog čega brod ima mogućnost okreta na mjestu. Taj jaki učinak izboja kod brodova s dva vijka kad se jedan vijak okreće za vožnju po pramcu, a drugi za vožnju po krmi, proizlazi upravo zbog različitog rada strojeva. To se svojstvo nastoji iskoristiti u pojedinim situacijama. Ukoliko brod s dva vijka vozi po pramcu samo jednim strojem, većom brzinom, postoji tendencija okretanja u stranu suprotnu od one na kojoj stroj radi. Takvo okretanje broda je uzrokovano zbog bočnih sila, ali i zbog sprega sila, jer vijak nije u uzdužnici broda, nego bočno otklonjen. Pri manjim brzina ta tendencija okretanja u suprotnu stranu od strane na kojoj je motor je veoma mala, pa čak i zanemariva, ali pri većim brzinama ona se može spriječiti jedino ako se kormilo jako otkloni. Kada brod sa dva vijka zavozi krmom samo sa jednim vijkom, nastat će jaki izboj krme kao posljedica

bočnih sila. Zbog toga je sila izboja puno jača nego kad brod samo jednim strojem vozi po pramcu.

### 3.6. REZULTANTA SILA NA KRMI KOD DVOVIJČANIH BRODOVA

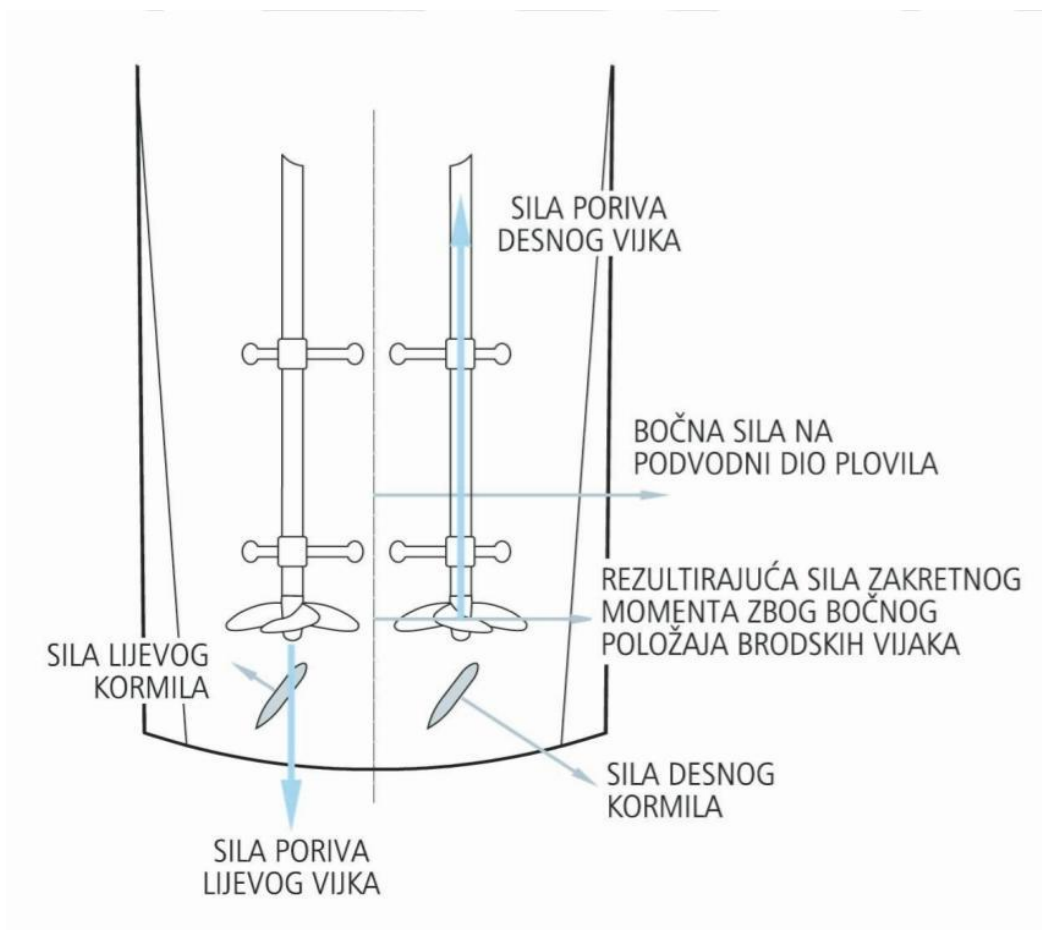
Pri konstrukciji dijagrama koji će pobliže objasniti vektorsko djelovanje sila na krmu kod dvovijčanih brodova treba se najprije raščlaniti problem bočnih sila koje nastaju zbog pozicije samih osovina i vijaka. Kako bi se pojednostavilo računanje utjecaja bočnih sila, koristi se rezultanta svih bočnih sila koja djeluje u jednoj točki u uzdužnici broda, kako je i prikazano na Slici 11.



**Slika 11. Rezultantna sila na krmu broda kada jednim strojem radi za vožnju krmom a drugim za vožnju naprijed [12]**

Ta točka je točno po sredini između jednog i drugog vijka. I u ovom slučaju vidi se velika prednost brodova s dva vijka u odnosu na brodove s jednim vijkom, a prednost je u tome što se uz odgovarajući režim rada strojeva i položaja kormila, može na krmu broda s dva vijka ostvariti sila takve jakosti, smjera i orijentacije koja je za odgovarajući manevar najpovoljnija. Ako se brodu s dva vijka pokvari jedan stroj, on je i dalje sposoban za manevriranje, a upravo se u tome očituje jedna od glavnih prednosti brodova s dva vijka nasuprot brodovima s jednim vijkom. Dvovijčani brodovi mnogo bolje, brže i sigurnije manevriraju u odnosu brodova s jednim vijkom.

Dok se oba vijka okreću za vožnju krmom ili za vožnju prema naprijed nema nikakvog izboja. Međutim ukoliko jedan stroj radi naprijed, a drugi krmom izboj će djelovati na jednu stranu. Takav izboj će biti izuzetno pojačan. Dakle, kod brodova s dva vijka postoji idealan slučaj, nema izboja za vožnju prema naprijed i krmom, a obratnim radom vijaka postiže se snažan izboj ako se to želi.



**Slika 12. Sile na krmu broda dok jedan stroj radi za vožnju krmom a drugi za vožnju naprijed [12]**

## **4. MANEVARIRANJE DVOVIJČANIM BRODOVIMA**

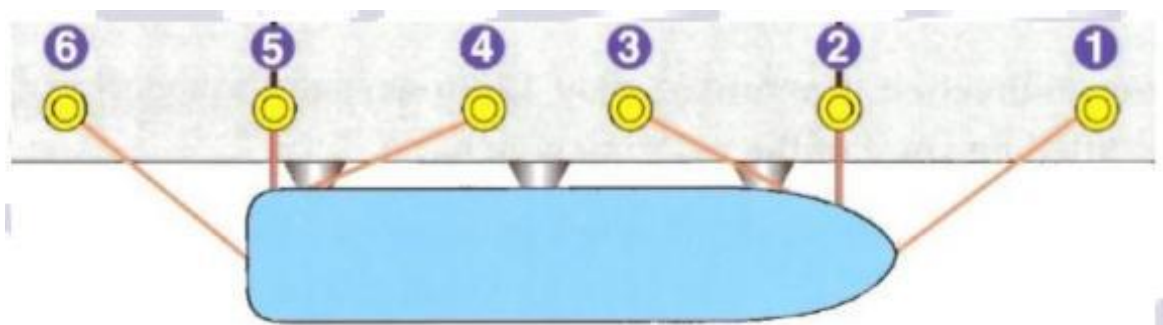
Manevriranje brodovima s dva vijka bi u teoriji trebalo biti veoma jednostavno. Kada se brod giba prema naprijed, te pod odgovarajućim kutom prilazi obali (mjestu veza) dovoljno je samo vanjskim strojem zavožiti krmom i brod se zaustavlja paralelno s obalom. Znači, u ovom slučaju rad vanjskog stroja krmom rezultira izbijanjem pramca od obale, a krme prema obali. Ukoliko na ovaj način prilazimo obali s konvencionalnim dvovijčanim brodom s van-rotirajućim vijcima stalnog uspona brod će uistinu odmah stati, čim stroj proradi krmom. Ovaj učinak se događa jer se ukupni učinak izboja pribraja zaokretnom momentu. Slična je situacija kada dolazimo pod većim kutom prema obali, samo što tada, neposredno prije zaustavljanja, treba vozeći unutarnjim strojem naprijed probati dovesti brod što je paralelnije moguće u odnosu na kopno. Što se tiče dvovijčanih brodova s vijcima promjenjivog uspona, oni se neće ponašati kao i dvovijčani brodovi stalnog uspona. Na dvovijčanom brodu promjenjivog uspona učinak ekscentriciteta i izboja zbraja se samo na vijku koji radi krmom ili samo na vijku koji radi naprijed.

### **4.1. MANEVAR PRISTAJANJA**

Prema definiciji pod pristajanje broda uz obalu misli se na pristajanje lijevim ili desnim bokom uz izgrađeno pristanište/obalu (gat), drugi brod ili pristan. Obala ili gat je izgrađen od betona te je time čvršći od broda. Ukoliko dođe do kontakta između obale i broda šteta će biti nerazmjerna jer popravak broda iziskuje mnogo vremena, rada, truda i novca. Privez je manevar koji brodu nakon uplovljavanja u luku ili na sidrište omogućava sigurnost i eventualnu pomoć s kopna. Brod može biti vezan na sljedeće načine: pristajanjem bokom uz obalu, pristajanjem uz plutaču, sidrenjem, vezivanjem između dvije plutače i vezivanjem u četvorovez. Od nabrojanih načina veza tehnički najkompleksniji je privez, jer se najčešće odvija u lukama gdje je prostor za manevriranje ograničen. Manevar pristajanja zahtjeva veliku pozornost, vještinu i iskustvo jer svaka kriva procjena udaljenosti može rezultirati udarom u obalu ili gat. Veliki brodovi ovaj manevar izvode uz pomoć lučkih tegljača. Upotreba lučkih tegljača je obvezna za sve brodove određene veličine u svim svjetskim lukama. Brodovi se mogu vezati za kopno s konopima, čeličnom užadi i lancima. Lanci su nešto rjeđe u uporabi tj. obično se upotrebljavaju u nedovoljno zaštićenim lukama i ako se predviđa dulji boravak broda na određenom privezu ili u



slučaju dolaska nevremena. Od nabrojanih načina vezivanja broda najsigurniji je onaj kada se brod vezuje čeličnom užadi. Iako najsigurniji način pri samom postupku vezivanja valja biti oprezan i polagano natezati užad, bez velikih trzaja, jer imaju malu rastezljivost. Čelična užad se ne smiju prekomjerno natezati ni previše opterećivati jer mogu puknuti. U današnje doba najzastupljenija je uporaba plastičnih konopa izgrađenih od najlona, molena i telona. Plastični konopi su čvrsti i elastični, rastezljivosti od 25% do 28% te se njima lako rukuje. Međutim treba biti oprezan pri rukovanju, jer ako pri natezanju puknu, vrate se na brod, pa mogu osakatiti ili čak ubiti članove posade dok s njima rade. S obzirom na koju se stranu brod privezuje postoji desni i lijevi privez, a s obzirom s kojeg djela broda je iznesen konop, čelična užad ili lanci razlikujemo bočni, pramčani i krmeni privez. Na Slici 13. prikazan je shematski prikaz položaj priveznih konopa na brodu. Ti privezni konopi su redom počevši od pramca prema krmi: (1) pramčani prednji konop, (2) pramčani bočni konop, (3) pramčani stražnji konop, (4) krmeni prednji konop, (5) krmeni bočni konop, (6) krmeni stražnji konop.



**Slika 13. Pozicija konopa za privez broda [12]**

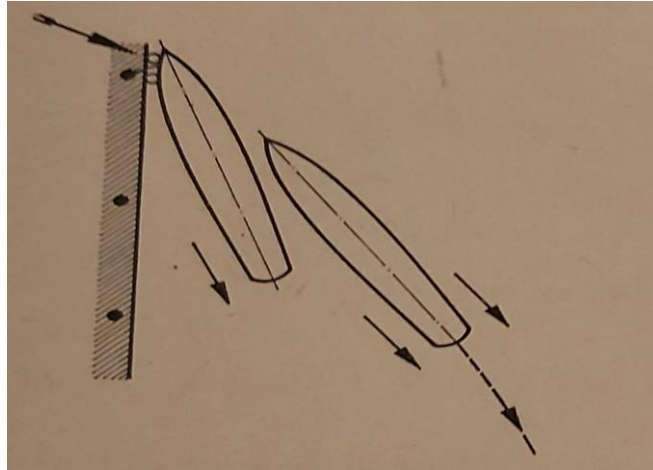
Stražnji pramčani konop se još obično naziva i pramčanim springom, a prednji krmeni konop krmenim springom. U lukama gdje su velike oscilacije u morskim mijenama, kao što je slučaj na primjer u lukama sjeverne Europe (Engleska (Severn-17,8 metara), Francuska (Granville u Donjoj Normandiji-16,1 metara)) ili Kanade (Fundy Bay-19,6m) treba pri nadolasku oseke konope, lance ili čeličnu užad na vrijeme popustiti i olabaviti; i obratno, pri nadolasku plime konope treba zategnuti.

#### **4.1.1. Pristajanje uz obalu dvovijčanim brodom po lijepom vremenu i manevar isplavljanja**

Princip pristajanja brodova s dva vijka pri mirnom vremenu jest takav da se obali prilazi umjerenom brzinom pod blagim kosim kutom. Na primjerenj udaljenosti od obale se zavozi krmom vanjskim strojem, a zatim unutrašnjim. Vanjski stroj se mora zaustaviti nešto ranije nego unutrašnji. Zaustavljanjem vanjskog stroja prije unutrašnjeg, sprečava se udar krme udari o obalu. Mogućnost udara krme o obalu u ovom slučaju je velika zbog izboja nastalog kada vanjski stroj prvi počeo voziti krmom. Pogrešno je mišljenje da se brodovi s dva vijka moraju dovesti u poziciju paralelnu sa obalom pri privezivanju. Dovoljna je i najmanja vremenska razlika u upućivanju strojeva kad oni voze krmom kako bi se krma zanišla prema obali. Brodovi s dva vijka puno lakše isplavljavaju iz luka od brodova s jednim vijkom jer imaju dva stroja i dobro kormilare u vožnji krmom. Pri mirnom vremenu ili pri umjerenom vjetru koji puše s obale ili gata brod se oslobodi svih konopa osim pramčanog bočnog. On se vitlima nategne tako da se dobije učinak udaljavanja krme od obale ili gata. Kada se krma dovoljno udalji od obale ili gata bočni konop se također odriješ i brod isplovi preko krme. Ukoliko je potrebno, pri isplavljanju se može unutrašnjim strojem zvesti krmom dok ona ne izbije van. Potom se nastavi vožnja krmom s oba stroja. Kada se brod dovoljno udalji od obale ili gata, ukoliko nema dovoljno prostora za manevar, može se izvesti okret na mjestu i isploviti prema izlazu iz luke.

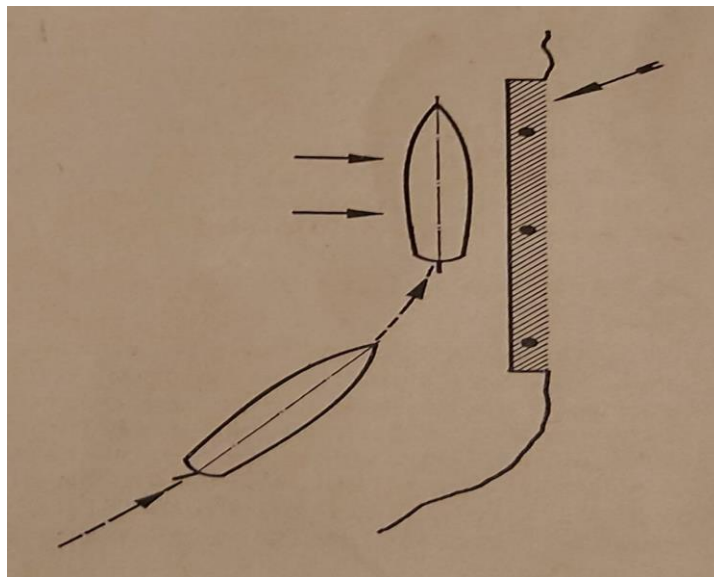
#### **4.1.2. Pristajanje uz obalu dvovijčanim brodom pri vjetru ili struji i manevar isplavljenja**

Manevar pristajanja i isplavljanja kod brodova s dva vijka može se podijeliti u nekoliko slučajeva, a to su: kada vjetar puše uzduž obale ili gata, kada vjetar puše od obale ili gata i kad vjetar puše prema obali ili gatu. Svaki od ovih slučajeva ima neke specifičnosti koje pomorac treba poznavati ukoliko želi manevar pristajanja i isplavljanja izvesti na brzi i siguran način.



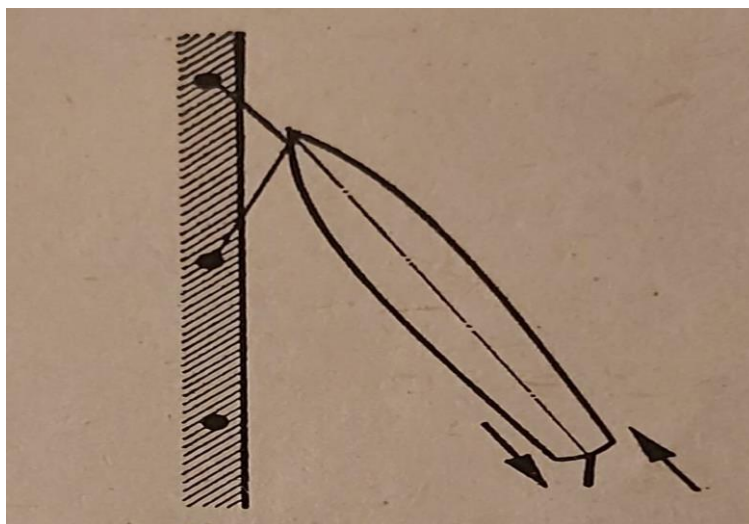
**Slika 14. Manevar isplovljenja broda s dva vijka [2]**

Kod prvog slučaja, kada vjetar puše uzduž obale ili gata, u načelu se uvijek pristaje pramacem protiv vjetra. Ukoliko je vjetar jak potrebno je prilaziti nešto većom brzinom. Međutim, ako se zbog nedovoljnog prostora ili pak nekog drugog razloga ne može pristati pramacem prema vjetru, onda se pristaje s vjetrom u krmu. U ovom slučaju kada pristajemo s vjetrom u krmu trebamo računati da će zalet broda biti mnogo veći. Kod drugog slučaja, kada vjetar puše od obale ili gata, biti će potrebno ići malo većom brzinom. U ovom slučaju je potrebno zavoziti s oba stroja krmom radi zaustavljanja, jer će krma poći sama u vjetar a pramac od vjetra. Pri zaustavljanju je potrebno najprije zaustaviti vanjski stroj, a malo poslije unutrašnji, kako ne bi došlo do udara krme o obalu ili gat.



**Slika 15. Manevar pristajanja u okretu broda s dva vijka [2]**

Brodovi koji imaju sigurne i jake strojeve u slučaju kada puše vjetar s obale ili gata mogu izvesti i manevar pristajanja u okretu. Ovaj manevar zahtjeva veliko znanje i iskustvo skipera/kapetana. Izvodi se na način da brod prilazi većom brzinom, a potom se pravodobno izvede nagli okreta i zaustave strojevi. Kada brod dođe u odgovarajuću poziciju lagano se zavozi krmom i prepusti centrifugalnoj sili da priljubi brod uz obalu. Vjetar služi kao neka vrsta odbojnika usporavajući brod. U trećem slučaju, kada vjetar puše prema obali ili gatu, pri prilazanju obali brod se drži što je više moguće u vjetar, a po potrebi se može upotrijebiti sidro ili okret na springu. Manevar sa sidrom uključuje obaranje sidra u privjetrini te osiguravanje broda s prednjim pramčanim konopom i pramčani springom. Sidro ima svrhu kočenja zanošenja broda i na takav način osigurava pramac da ne udari o obalu. U ovom slučaju se sidro ponaša kao obratni spring. Radom motora naprijed i kormilom prebačenim na unutrašnju stranu sprečava se da se krma broda naglo nasloni na obalu. Manevar isplovljavanja u ovom se slučaju izvodi slično kao i u slučaju kada vjetar puše s obale ili gata. Najčešće se pri isplovljavanju treba okrenuti na pramčanom springu, pri ovom manevru se prvo uvuče prednji pramčani konop, a kormilo se postavi na približno 15 stupnjeva na unutrašnju stranu. Potom se istodobno zavozi unutrašnjim strojem lagano krmom, a vanjskim strojem lagano prema naprijed.



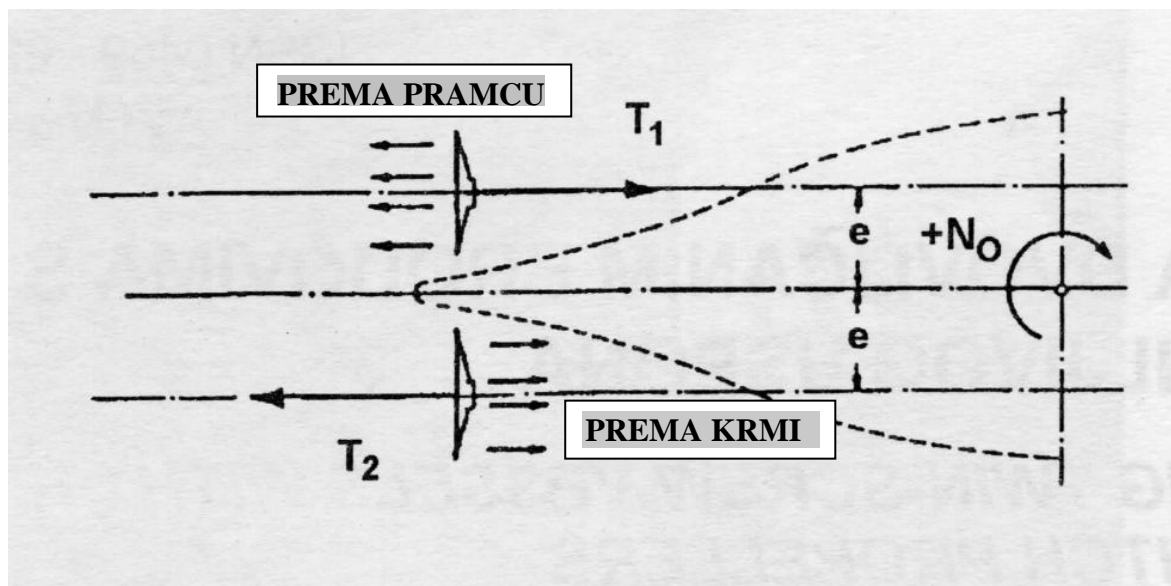
**Slika 16. Manevar isplovljenja broda s dva vijka pomoću springa [2]**

## 5. ČIMBENICI KOJI DEFINIRAJU MANEVARSKJE SPECIFIČNOSTI DVOVIJČANIH BRODOVA

Manevarske specifičnosti brodova s dva vijka ovise o mnogo različitih faktora, dok veličina bočne sile na krmi ponajviše o sljedećim faktorima: ekscentričnom položaju vijaka, izboju vijaka, tlačno-usisnom učinku vijaka, te utjecaju vijčanog mlaza na trup broda i na list kormila.

### 5.1. EKSCENTRIČNI POLOŽAJ VIJKA

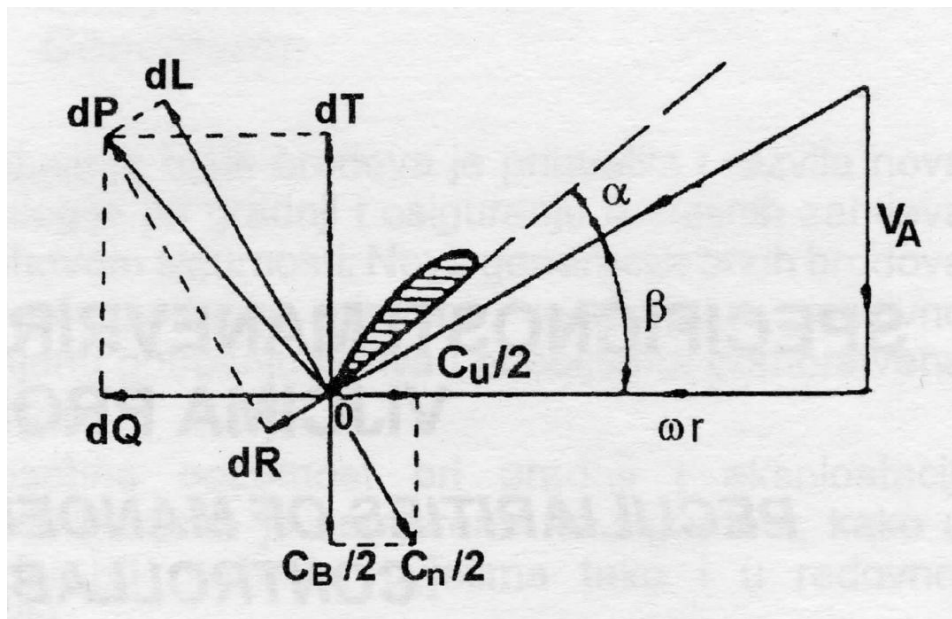
Poznato je kako vijci kod brodova s dva vijka nisu smješteni u uzdužnici broda, već na njegovim bokovima, a radom vijaka nastaje zaokretni moment, koji je u funkciji veličine porivne sile i kraka. Drugim riječima može se kazati kako je veličina zaokretnog momenta proporcionalna lateralnoj udaljenosti pravaca djelovanja porivne sile vijaka od težišta odnosno uzdužnice broda. U slučaju kada jedan vijak radi krmom, a drugi za vožnju pramcem, nastali momenti se zbrajaju, a brod se pramcem okreće u onu stranu na kojoj je vijak koji radi u smjeru za vožnju krmom.



Slika 17. Učinak ekscentričnog položaja vijka [10]

## 5.2. IZBOJ VIJKA

Uz porivnu silu koja djeluje u smjeru osovine, vijak pri svojoj rotaciji stvara još jednu značajnu silu, a to je bočni moment ili izboj. Ova pojava se najjednostavnije objašnjava ako se poslužimo teorijom elemenata krila vijka koju je postavio *William Froude* još 1878. godine. Ova teorija kaže da je ukupni poriv i ukupni moment vijka jednak sumi lokalnih poriva i lokalnih momenta, a koji nastaju na pojedinim elementima krila vijka. Na Slici 18. prikazane su brzina i sile na jednom krilu vijka.

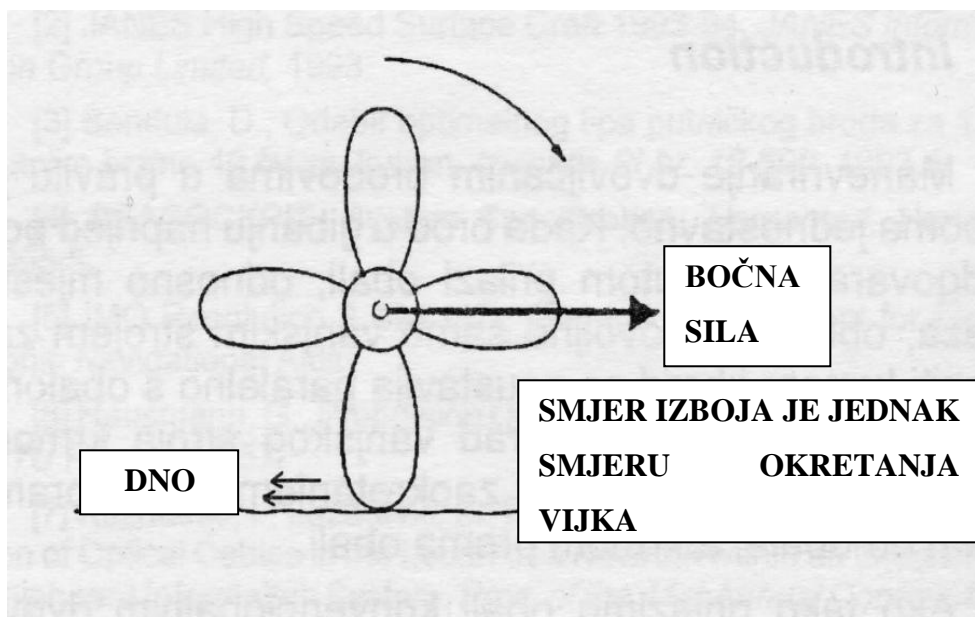


Slika 18. Objašnjenje učinka izboja [10]

Rezultanta brzine pritjecanja vode  $V_A$  i brzine vrtnje  $d\omega r$  je relativna brzina strujanja vode  $V$ . Ona ima elementarni uzgon  $dL$  okomit na smjer upada vode i elementarni otpor  $dR$  u smjeru rezultante brzine. Komponente  $dL$  i  $dR$  imaju rezultantu  $dP$  koja se može rastaviti na elementarni poriv  $dT$  koji djeluje u smjeru gibanja i na elementarni moment  $dQ$  koji je okomit na smjer gibanja. Integracijom  $dQ$  elementa duž radijusa, dobiva se moment jednog krila. Ukoliko se želi znati ukupni moment vijka potrebno je pomnožiti moment jednog krila sa brojem krila na vijku.

Pritjecanje vode nije paralelno s osovinom na čitavoj površini vijka, a nije ni ujednačene brzine, pa se momenti na različitim krilima neće međusobno poništiti, već će se pojaviti izboj u smjeru rotiranja vijka. Ovisno o smjeru rotacije vijka izboj može povećati ili smanjiti učinak ekscentriciteta. Manifestaciju ovog učinka lakše je promatrati ukoliko se

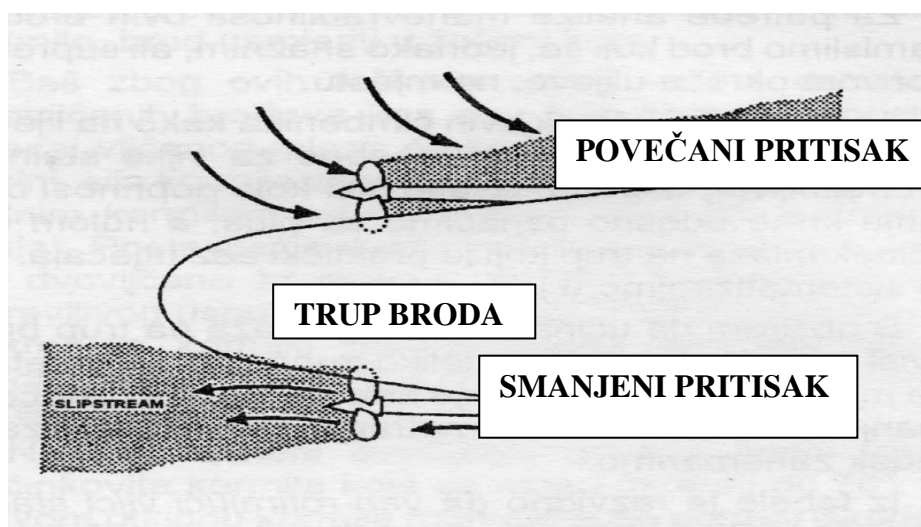
zamisli da vijka pri svojoj vrtnji dodiruje morsko dno, kao što je prikazano ispod na Slici 19.



Slika 19. Smjer djelovanja izboja [8]

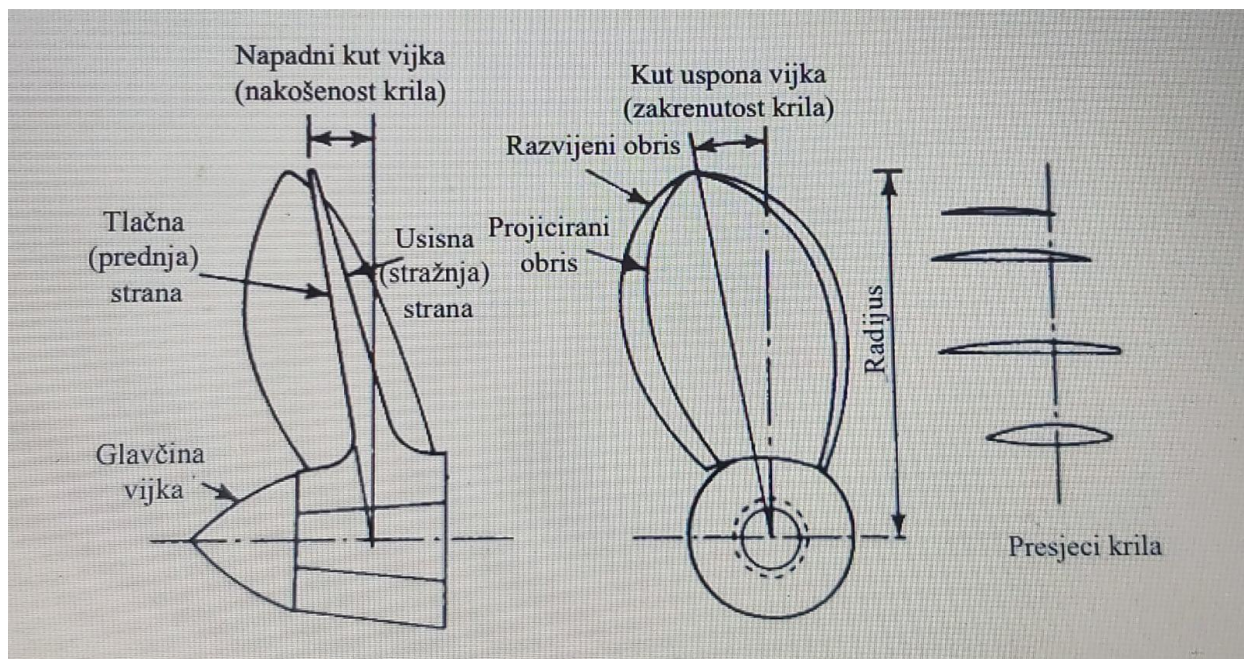
### 5.3. TLAČNO-USISNI UČINAK VIJKA

Ovaj učinak se uvijek pridodaje učinku ekscentriciteta, a nastaje kada strojevi u brodova s dva vijka rade u suprotnim smjerovima.



Slika 20. Tlačno – usisni učinak [8]

Učinak je pojačan naročito kada se brod još giba prema naprijed. Ovaj učinak ima za posljedicu usporavanje strujanja, odnosno porast pritiska na strani vijka koji radi krmom i ubrzavanje strujnica. Ulazni brid vijka je onaj koji zahvaća vodu, te je preko tlačne plohe lista potiskuje prema izlaznom bridu. Usisna strana vijka je ona strana okrenuta prema pramcu. Na njoj se javlja podtlak. Tlačna strana vijka je strana okrenuta prema krmu. To je područje višeg tlaka. Ova strana zahvaćenoj vodi daje ubrzanje i potiskuje je prema krmu. Na njoj je područje visokog tlaka.

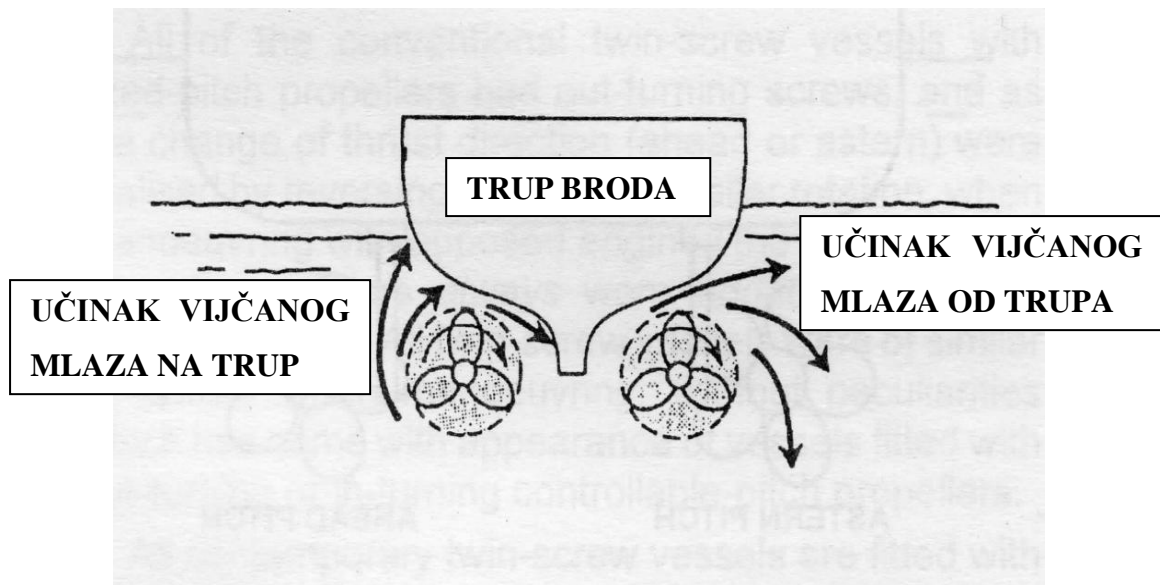


Slika 21. Napadni kut i kut uspona vijka [21]

#### 5.4. UČINAK VIJČANOG MLAZA NA TRUP BRODA

Ukoliko su vijci postavljeni blizu trupa broda, a brod se sa npr. van-rotirajućim vijcima stalnog uspona, želi okrenuti u mjestu ili pri laganom gibanju krmom, tada će vijak koji radi krmom vijčanim mlazom djelovati na trup broda i tako će doprinijeti bržem okretanju broda.





**Slika 22. Učinak vijčanog mlaza na trup broda [10]**

### **5.5. UČINAK VIJČANOG MLAZA NA KORMILO BRODA**

Smještaj lista kormila od izuzetnog je značaja, a posebno pri maloj ili nultoj brzini. Vijčani mlaz utječe na kormilo jedino u situacijama kada je list kormila postavljen neposredno iza vijka, stoga većina brodova s dva vijka imaju dva kormila postavljena iza svakog vijka. Ipak neki brodovi s dva vijka nemaju dva kormila već jedno, postavljeno u uzdužnici broda. Kod takvih brodova manevriranje pri maloj ili nultoj brzini je potpuno neunčikovito. Ukoliko se umjesto običnih visećih kormila postave visokounčikovita kormila Becker, Jastram ili sličnog tipa, tada će manevrabilnost biti još izraženija. Na kraju valja naglasiti kako je oblik krmenog podvodnog dijela broda od značajne važnosti za tlačno-usisni učinak vijka, a posebno za utjecaj vijčanog mlaza na trup broda (naročito pri gibanju krme). Takav utjecaj će biti značajno veći ukoliko brod ima unutar-rotirajuće vijke. Međusobni odnosi ovih čimbenik se mijenjaju ovisno o tome poduzima li se manevar pri gibanju krmom, pramcem ili dok je brod zaustavljen.

## 6. SPECIFIČNOSTI U MANEVIRANJU RAZLIČITIM DVOVIJČANIM BRODOVIMA

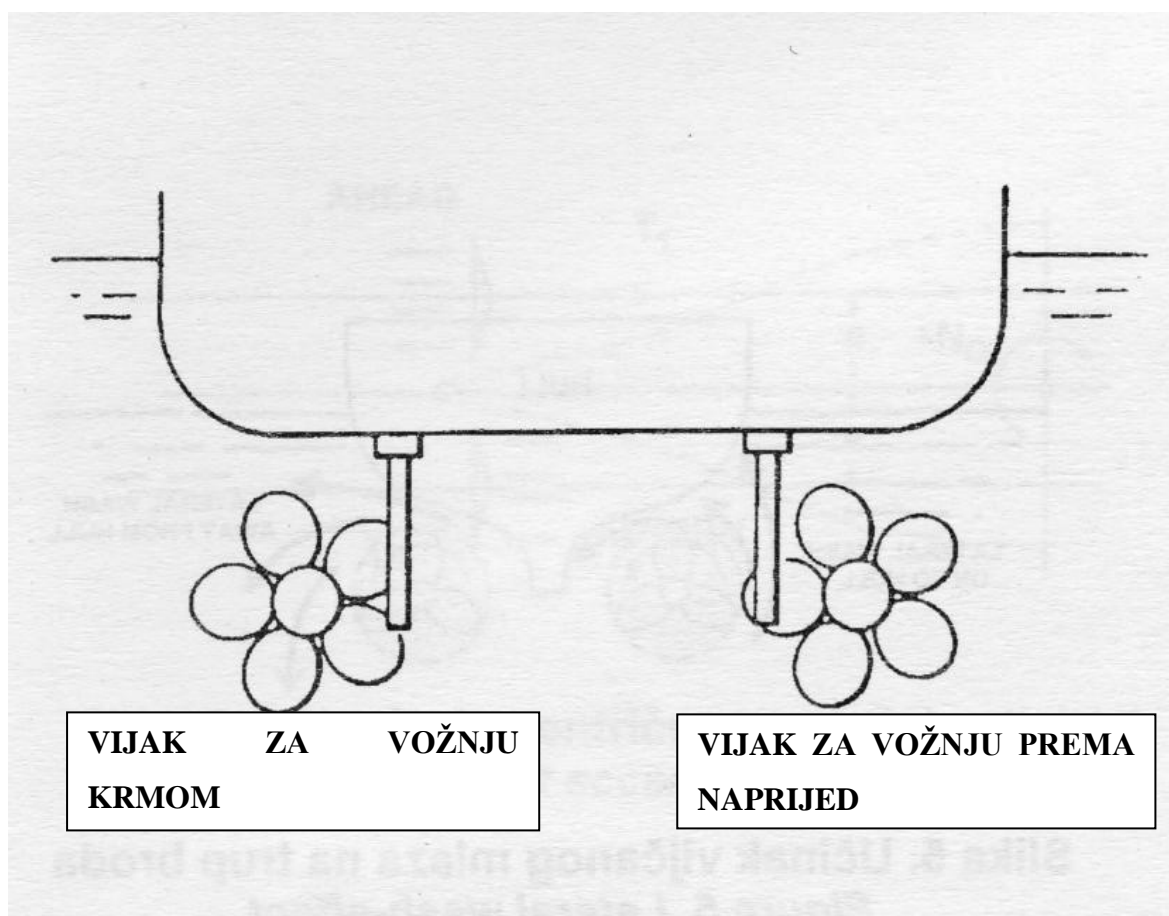
Iako je *Wooderoft* još rane 1844. godine izumio vijak promjenjivog uspon on se tek u drugoj polovici dvadesetog stoljeća počeo koristiti u pomorstvu. Zahvaljujući ponajviše tehnološki pouzdanim rješenjima za zakretanje vijka, ovi vijci se sve više ugrađuju kod brodova koji rade pod promjenjivim opterećenjem i često mijenjaju smjer kao npr. tegljači, kočari, ledolomci, trajekti, RO-RO brodovi, putnički itd. Tako danas u svjetskoj trgovačkoj floti brodovi s dva vijka obično imaju vijke promjenjivog uspona i to pretežito vijke s unutar-rotirajućim načinom rada. Pri manevriranju danas već zastarjelih konvencionalnih dvovijčanih brodova s van-rotirajućim vijcima stalnog uspona, bočna sila na krmi bila je uvijek jednaka zbroju svih gore navedenih čimbenika (ekscentrični položaj vijaka, izboj vijka, tlačno-usisni učinak vijka, te utjecaj vijčanog mlaza na trup broda i na list kormila). Uspoređujući ovakve brodove možemo reći da su bili okretljivi oni koji su imali jače strojeve i razmaknutije vijke, a kako su svi imali van-rotirajuće vijke slično su se ponašali pri manevriranju tako da nije ni moglo biti govora o nekim značajnijim posebnostima. Međutim, kada se na slične ili iste brodove počelo ugrađivati vijke promjenjivog uspona dogodilo se to da su sada ti isti brodovi bili manje okretljivi (jer im se izboji uvijek poništavaju). Zatim se moglo uočiti kako se oni brodovi s unutar-rotirajućim i van-rotirajućim vijcima ipak različito ponašaju, stoga danas možemo govoriti o specifičnom ponašanju današnjih dvovijčanih brodova. Kako bi se lakše analizirali manevarabilnosti ovih brodova zamisli se brod koji se, jednako snažnim, ali suprotnim porivom okreće ulijevo na mjestu. Analizirajući učinak svih čimbenika kako na lijevom tako i na desnom vijku, posebno za vijke stalnog i promjenjivog uspona. Svaku silu koja doprinosi okretanju krme udesno označimo sa plus, a nulom onaj učinka mlaza na trup koji je trup praktički bez utjecaja. Obzirom da učinka vijčanog mlaza na trup broda ovisi o obliku krme i nije toliko značajan pri okretanju na mjestu, koliko prigibanju krmom, zaključci neće biti manje kvalitetni ako se u razmatranju donje tabele zadnji redak zanemari.

**Tablica 1. Usporedba specifičnosti različitih dvovijčanih brodova**

ČIMBENICI	VIJAK STALNOG USPONA		VIJAK PROMJENJIVOG USPONA			
			UNUTAR- ROTIRAJUĆI		VAN- ROTIRAJUĆI	
	DESNO	LIJEVO	DESNO	LIJEVO	DESNO	LIJEVO
UČINAK EKSCENTRICITETA	+	+	+	+	+	+
UČINAK IZBOJA	+	+	+	0	0	+
TLAČNO-USISNI UČINAK	+	+	+	+	+	+
UČINAK VIJČANOG MLAZA	+	0	+	0	0	0

Iz priložene tablice lako se može iščitati da van-rotirajući vijci stalnog uspona (FPP, *out-turning propellers*) omogućuju optimalnu okretljivost, dok to i nije slučaj kod vijaka upravljivog uspona. Pri suprotnom radu vijka upravljivog uspona zbrajaju se samo tlačno-usisni učinak i učinak ekscentriciteta, dok se učinak izboja kod lijevog i desnog vijka međusobno poništavaju. Ako su vijci promjenjivog uspona i unutar-rotirajući onda se svi učinci zbraja samo na vijku koji radi za vožnju krmom, a ako su van-rotirajući onda se svi učinci zbrajaju, ali samo kod vijka koji radi za vožnju pramcem. Ovo je veoma važno imati na umu ukoliko plovimo dvovijčanim brodom s jednim kormilom, a bez potiskivača. Uski brodovi s vijcima upravljivog uspona koji imaju jedno kormilo i nemaju potiskivače mogu se suočiti s ozbiljnim poteškoćama pri manevriranju. Na primjer takav brod s unutar-rotirajućim vijcima pri ubrzanom gibanju krmom kada želi usporiti treba pramac okrenuti za veću kutnu vrijednost u lijevo ili desno jer se može dogoditi da učinak izboja na vijku koji snažno radi naprijed, nadvlada tj. poništi učinak ekscentriciteta. Posljedica poništenog učinka ekscentriciteta može biti prestajanje okretanja broda sve dok drugim vijkom opet ne zavozimo krmom. Kod ovakvog slučaja bolje bi bilo da se zalet krme poništi radom obaju vijaka pre naprijed jer tada nema neželjenog izboja, a i brod se brže zaustavlja. Ove opisane teškoće se ne bi iskazale kod dvovijčanih brodova s van-rotirajućim vijcima upravljivog uspona, jer bi se u tom slučaju svi učinci zbrajali na vijku koji radi za vožnju

pramcem. Međutim, ako dvovijčani brod s van-rotirajućim vijcima, a s jednim kormilom pri gibanju pramcem treba naglo promijeniti kurs neugodno ćemo se iznenaditi ako okretanje probamo ubrzati vozeći krmom s vijkom na strani okretanja. Inače bi ova metoda bila učinkovita na brodovima s van-rotirajućim vijcima stalnog uspona ili sa unutar-rotirajućim vijcima upravljivog uspona. U našem slučaju taj manevar nije učinkovit jer izboj umanjuje učinak ekscentriciteta, pa tako i kutnu brzinu okretanja. Rješenje je da ako brod nije izložen jakom bočnom vjetru, bolje je odmah zavoziti s oba stroja krmom jer se brodu na taj način drastično smanjuje brzina, a neželjeni učinak izboja se pri tome neće javiti jer ga poništava izboj na drugom vijku. Čim brod izgubi brzinu tada treba zavesti snažno naprijed sa strojem na strani suprotnoj okretu. Tada se svi učinci zbrajaju. Zbog teškoća ovakvog tipa velika većina današnjih brodova s dva vijka imaju i dva lista kormila. Posebno je korisno za dvovijčane brodove s unutar-rotirajućim vijcima upravljivog uspona postavljanje dvaju kormila jer učinak vijčanog mlaza na zakrenuto kormilo nadvlada suprotan učinak izboja na vijku koji se nalazi na suprotnoj strani od strane okretanja broda. Od novijih dvovijčanih brodova danas se očekuje visok stupanj manevarabilnosti što podrazumijeva i transverzalna gibanja. Transverzalno gibanje, po definiciji, je moguće izvesti jedino ako postoji i na prednjem djelu broda neka bočna sila. Stoga, današnji dvovijčani brodovi u pravilu imaju barem jedan potiskivač na pramcu. Uski brodovi s vijcima upravljivog uspona (s jednim kormilom i bez potiskivača) mogu se suočiti sa ozbiljnim poteškoćama pri manevriranju. Ako npr. takav brod s unutar-rotirajućim vijcima pri ubrzanom gibanju krmom treba usporiti onda brod treba okrenuti za veću kutnu vrijednost pramcem u lijevo ili udesno- sve jedno. Može se dogoditi da učinak izboja na vijku koji snažno radi naprijed, nadvlada tj. poništi učinka ekscentriciteta te se brod prestane okretati dok drugim vijkom opet ne zavozimo krmom. U ovom slučaju bolje je zalet krmom poništiti radom obaju vijaka naprijed, jer tada ne samo što nema neželjenog izboja, već se brod brže zaustavlja. Pri punom otklonu kormila naročito na užim brodovima, kormilo, iako smješteno u sredini ipak osjeća utjecaj vijčanog mlaza. Opisane teškoće pri manevriranju brodom koji ima negativno ubrzanje ne bi se ispoljile pri manevriranju dvovijčanim brodom s van-rotirajućim vijcima upravljivog uspona, jer se u tom slučaju na vijku koji radi za vožnju prema naprijed svi učinci zbrajaju, dakle i učinak izboja. Međutim, ako takav brod s jednim kormilom pri gibanju naprijed treba naglo promijeniti kurs, ne smije se okretanje pokušati pospješiti vozeći krmom vijkom na strani okretanja broda. Ovakav manevar bi inače bio uspješan na brodu s van-rotirajućim vijcima stalnog uspona ili sa unutar rotirajućim vijcima upravljivog uspona.



**Slika 23. Dvovijčani brod koji sa na mjestu okreće ulijevo [8]**

Neki dvovijčani brodovi kao npr. trajekti, putnički brodovi i RO-RO brodovi imaju visoko nadvođe i veliki lateralni plan, pa su jako osjetljivi na bočni vjetar pogotovo pri malim brzinama. Pri manevriranju tim brodovima važno je imati na umu ne izložiti bok broda jakom vjetru, no kada to nije moguće od presudne je važnosti veličina bočne sile koju brod može razviti, ne samo na krmi nego i na pramcu. Zato snaga pramčanog potiskivača nije manje bitna od veličine bočne sile koja se na krmi može ostvariti. To bi značilo da je manevarabilnost broda u funkciji ukupne bočne sile tj. zbroja bočnih sila na prednjem i krmenom dijelu broda.

## 7. ZAKLJUČAK

Kao što je u radu spomenuto, iskustvo u manevriranju se stječe vježbom, a osim vježbi potrebno je poznavati sva manevarska obilježja broda, kao i sve manevarske uređaje te ponašanje broda u bilo kojim vremenskim uvjetima. Predviđanje ponašanja broda u određenim situacijama je možda i najveći izazov s kojim se pomorci susreću. Kroz rad su se priložili mnogi nedostaci i problemi na koje su nailazili dvovijčani brodovi s jednim kormilo, a baš zbog tih teškoća velika većina današnjih dvovijčanih brodova ima dva lista kormila. Koristeći utjecaj vijčanog mlaza na kormilo, posebno pri maloj brzini, sila kormila se višestruko povećava, što pak nije slučaj s brodovima s jednim kormilom (pri maloj brzini sila kormila je zanemarivo mala). Neki noviji dvovijčani brodovi imaju mogućnost da se njihova kormila okreću zajedno ili odvojeno. Dok oba vijka rade naprijed logično je da će se listovi okretati zajedno, jer će se tada sila na oba kormila zbrajati. Međutim, sila kormila koja se javlja na listu koji se nalazi neposredno iza vijka koji radi krmom je zanemariva. Da bi se izbjegao gubitak vremena za okretanje kormila, naročito za potrebe manevriranja zaustavljenim brodom ili pri minimalnom gibanju kormila se mogu stalno držati prema uzdužnici broda. Time se osim trenutne promjene smjera poriva može imati i trenutna promjena smjera bočne sile na krmi.

Prednosti dvovijčanih brodova u odnosu na one s jednim vijkom ima mnogo, ali usprkos mnogim prednostima postoje i elementarni nedostaci. Prednosti se ponajviše očituju u tome što nemaju negativan izboj, a krug okreta se može svesti na dužinu broda. Zatim, manevriranje u uskom akvatoriju je uvelike olakšano, veća je sigurnost pogona i mogućnost kormilarenja strojevima. U situacijama kad dođe do potpunog kvara na jednom od strojeva dvovijčani brodovi mogu nastaviti plovidbu dok su brodovi s jednim vijkom prepušteni na milost i nemilost prirodnim silama. Nedostaci dvovijčanim brodovima su: visoka cijena, izloženost vijaka oštećenjima jer se nalaze bliže bokovima, te pogonski strojevi i osovinski vodovi zauzimaju više prostora na brodu.

## LITERATURA

- [1] Bielić, T. (2004.): „*Utjecaj eronomskih čimbenika na upravljanja brodom*“, NAŠE MORE: znanstveno-stručni časopis za more i pomorstvo, Vol. 51, No. 5-6, str. 175
- [2] Buljan, I (2001).: *Manevriranje brodom: udžbenik za usmjereno obrazovanje*
- [3] Jašić, D., Belamarić, Trošić, Ž.: „*Planiranje pomorskog putovanja*“, Zadar, 2011
- [4] Lušić, Z.: *Terestrička navigacija, autorizirana predavanja*, Pomorski fakultet u Splitu, Split 2014.
- [5] Mohović, R., Rudan, I., Mogović, Đ.: “*Problemi korištenja simulatora u edukaciji upravljanja i manevriranja brodom*”, Pomorstvo, 2012.
- [6] Radan, D. (2004.): „*Uvod u hidrodinamiku broda*“, Sveučilište u Dubrovniku
- [7] Radulić, R. (2001.): „*Manevriranje brodom*“, Profil International, str. 7, Zagreb
- [8] Russo, M. (1997.): „*Specifičnost manevriranja dvovijčanih brodova s vijcima promjenjivog uspona*“, NAŠE MORE: znanstveno-stručni časopis za more i pomorstvo, Vol. 44, No. 1-2, 1997. str. 17-22
- [9] Sambolek, Miroslav: „*Brodski vijak - gubitci i stupanj djelovanja*“, NAŠE MORE: znanstveno-stručni časopis za more i pomorstvo, Vol. 61, No. 3, 2010.
- [10] Šilović S. i Sentić A., „*Brod, propulzija, Tehnička enciklopedija*“, Zagreb 1956., str.201
- [11] Vetma, Vladimir; Kulenović, Zlatan; Antonić, Radovan; Tomas, Vinko: „*Optimiziranje brodskog vijka s konstantnim usponom*“, NAŠE MORE: znanstveno-stručni časopis za more i pomorstvo, Vol. 26, No. 2, 2012
- [12] Zujić, M.: „*Tehnika rukovanja brodom*“, autorizirana predavanja, Pomorski fakultet u Splitu, 2017.

## INTERNETSKI IZVORI

- [13] <https://www.pfst.unist.hr/hr/component/users/?view=login> (pristupljeno 26.06.2020)
- [14] <https://www.myseatime.com/> (pristupljeno 13.04.2020)
- [15] <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/controllable-pitch-propeller-cpp-vs-fixed-pitch-propeller-fpp/> (pristupljeno 01.08.2020)
- [16] <https://marine.man-es.com/propeller-aft-ship/product-range/man-alpha-fixed-pitch-propeller---fpp> (pristupljeno 26.03.2020)
- [17] <https://www.boatus.com/magazine/2018/october/how-to-dock-a-twin-outboard-boat.asp> (pristupljeno 20.04.2020)
- [18] <https://www.evinrude.com/en-US/blog/how-to-dock-a-boat-with-twin-engines.html> (pristupljeno 20.04.2020)
- [19] <https://powerboating.com/maneuvering-twin-stern-drives-better-boat-handling-craig-hamilton/> (pristupljeno 21.04.2020)
- [20] <https://www.youtube.com/watch?v=luNCuyRf3ro> (pristupljeno 14.05.2020)
- [21] [https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads\\_nastava/20190506\\_085211\\_martinovic\\_Osov.\\_vod.propulzija.pdf](https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20190506_085211_martinovic_Osov._vod.propulzija.pdf) (pristupljeno 01.09.2020)
- [22] [https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/brod\\_7\\_propulzija\\_broda.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/brod_7_propulzija_broda.pdf) (pristupljeno 06.09.2020)
- [23] <https://ecology.wa.gov/DOE/media/Images/CLEANUP-SPILLS/Spills/Research%20Data/VesselSpillCauses-pieChart.png?ext=.png> (pristupljeno 07.09.2020)
- [24] <https://repozitorij.pfst.unist.hr/islandora/object/pfst%3A420/datastream/PDF/view> (pristupljeno 07.09.2020)



## POPIS SLIKA

Slika 1. Greška prouzročena ljudskom pogreškom .....	2
Slika 2. Pregib – naprezanje na brijegu vala.....	4
Slika 3. Progib – naprezanje na dolu vala .....	5
Slika 4. Učinak struje na kurs kroz vodu i brzinu kroz vodu .....	6
Slika 5. Brodski čučanj u plovidbi plitkim vodama .....	7
Slika 6. Vijak s fiksnim korakom .....	9
Slika 7. Vijak promjenjivog koraka.....	9
Slika 8. Djelovi vijka promjenjivg koraka.....	10
Slika 9. Raspored sustrujanja iza jednog vijka dvovijčanog broda .....	12
Slika 10. Dvovijčani brod s dva kormila .....	14
Slika 11. Rezultantna sila na krmi broda kada jednim strojem radi za vožnju krmom a drugim za vožnju naprijed .....	15
Slika 12. Sila na krmi broda dok jedan stroj radi za vožnju krmom a drugi za vožnju naprijed .....	16
Slika 13. Pozicija konopa za privez broda.....	18
Slika 14. Manevar isplovljenja broda s dva vijka.....	20
Slika 15. Manevar pristajanja u okretu broda s dva vijka .....	20
Slika 16. Manevar isplovljenja broda s dva vijka pomoću springa .....	21
Slika 17. Učinak ekscentričnog položaja vijka.....	22
Slika 18. Objašnjenje učinka izboja.....	23
Slika 19. Smjer djelovanja izboja .....	24
Slika 20. Tlačno – usisni učinak.....	24
Slika 21. Napadni kut i kut uspona vijka.....	25
Slika 22. Učinak vijčanog mlaza na trup broda.....	26
Slika 23. Dvovijčani brod koji se na mjestu okreće ulijevo .....	30

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Usporedba specifičnosti različitih dvovijčanih brodova.....	28
--	----

## **POPIS KRATICA**

STW (engl. Speed through water)

SOG (engl. Speed over ground)

CTS (engl. Cours to Steer)

COG (engl. Cours over ground)

FPP (engl. Fixed Pitch Propeller)

CPP (engl. Controllable Pitch Propeller)

Brzina kroz vodu

Brzina preko dna

Kurs kroz vodu

Kurs preko dna

Vijak stalnog uspona

Vijak promjenjivog uspona