# Analiza uputa za upravljanje brodom prilikom uplovljavanja i isplovljavanja iz luke

**Čajsa, Sanja**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:869730

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

*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

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**POMORSKI FAKULTET**

**SANJA ČAJSA**

# ANALIZA UPUTA ZA UPRAVLJANJE BRODOM PRILIKOM UPLOVLJENJA I ISPLOVLJENJA IZ LUKE

**DIPLOMSKI RAD**

**SPLIT, 2016.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**POMORSKI FAKULTET**

**STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA**

**SANJA ČAJSA**

# ANALIZA UPUTA ZA UPRAVLJANJE BRODOM PRILIKOM UPLOVLJENJA I ISPLOVLJENJA IZ LUKE

**DIPLOMSKI RAD**

**MENTOR:** **STUDENT:**

**Prof.dr.sc. IZVOR GRUBIŠIĆ** **Sanja Čajsa (MB 0171251831 )**

**SPLIT, 2016.**

# SAŽETAK

Upravljanje brodom složena je zadaća u ovisnosti od manevarskih svojstava samoga broda, ali i čovjeka koji mora biti kvalitetno pripremljen i obučen za vršenje takve dužnosti. Brod kao složeni sustav sam stvara sile koje vrše djelovanje na njega, ali je tako isto podložan utjecaju sila iz okoline. Ove sile moraju se poznavati kako bi se u obzir uzelo njihovo djelovanje, a gdje je to moguće i pozitivno iskoristilo prilikom izvođenja uplovljenja odnosno isplovljenja. Postojeće upute za upravljanje brodom, prilikom uplovljenja ili isplovljenja, čine dokazane i prokušane metode izvođenja manevara, no ipak treba ih uzeti sa jednom dozom rezerve kako bi u svakoj situaciji, pravilnom reakcijom i odlukom čovjeka, brod i njegovi ljudi bili uvijek sigurni.



**Ključne riječi:** *upravljanje brodom, manevarska svojstva broda, sile koje djeluju na brod, upute za upravljanje brodom, sigurnost broda*



# ABSTRACT

Ship's handling is a complexed task that depends, not nly on maneuvaring abbilites of the ship, but it also depends on man who has to be well prepaired and trained to be able to perform such duties. Ship as a complexed system which creates the forces that exert on itself, but she too is subject to the forces of the environment. This forces have to be well known to take their actions into account and to use their actions possitivelly wherever it is possible durring the entering or leaving a port. Existing instructions for operatin and managing the ship when entering or leaving, make prooven and tested methods for manouver performance, but still should not be taken for granted so in every situation, with right ship managing, the ship and it's crew would always be safe.



**Key words:** *ships handling, maneuvaribilitty of the ship, forces that exert on the ship, instructions for ship's handling, ships safety*

# SADRŽAJ

SAŽETAK

SADRŽAJ

UVOD ..... 1

1. BROD KAO PLOVNO SREDSTVO ..... 3

1.1. TEMELJNE ZNAČAJKE BRODA ..... 4

1.2. TRI UVJETA PLOVNOSTI BRODA ..... 5

2. HIDRODINAMIKA BRODA ..... 7

2.1. OSNOVNA PODRUČJA HIDRODINAMIKE BRODA ..... 7

2.2. BROD KAO HIDRDINAMIČKI SUSTAV ..... 8

3. TEMELJNE ZNAČAJKE BRODA KAO HIDRODINAMIČKOG SUSTAVA ..... 10

3.1. SILE I MOMENTI KOJI DELUJU NA BROD ..... 10

3.2. GIBANJA BRODA ..... 11

3.3. OTPOR BRODA ..... 12

3.4. PROPULZIJA BRODA ..... 13

3.4.1. Vrste propulzora ..... 14

3.4.2. Brodski vijak ..... 15

3.5. OKRETLJIVOST BRODA ..... 18

3.5.1. Kormilo ..... 19

3.5.2. Djelovanje sila na kormilo ..... 20

3.5.3. Djelovanje kormila na brod ..... 21

4. UPRAVLJIVOST BRODA ..... 23

4.1. POVIJESNI RAZVOJ UPRAVLJIVOSTI BRODA ..... 23

4.2. VANJSKI ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA UPRAVLJIVOST BRODA ..... 24

4.3. UNUTRAŠNJI ČIMBENICI KOJI DJELUJU NA UPRAVLJIVOST BRODA ..... 28

4.4. PROCJENA SVOJSTAVA UPRAVLJIVOSTI PRILIKOM PROJEKTIRANJA BRODA ..... 34

5. ANALIZA UPUTA ZA UPRAVLJANJE BRODOM PRILIKOM UPLOVLJAVANJA I ISPLOVLJAVANJA IZ LUKE ..... 38

5.1. UPRAVLJANJE BRODICOM NA VESLA ..... 38

5.2. UPRAVLJANJE BRODICOM NA JEDRA ..... 40

5.3. UPRAVLJANJE BRODICOM SA VANBRODSKIM MOTOROM ..... 42

5.4. UPRAVLJANJE BRODOM NA MEHANIČKI POGON SA JEDNIM VIJKOM ..... 45

5.5. UPRAVLJANJE BRODOM NA MEHANIČKI POGON SA DVA VIJKA ..... 55
5.6. UPRAVLJANJE BRODOM NA MEHANIČKI POGON SA VIŠE VIJAKA ..... 58
6. POSEBNE NAPOMENE ZA UPRAVLJANJE BRODOM PRILIKOM UPLOVLJAVANJA I ISPLOVLJAVANJA IZ LUKE ..... 59
ZAKLJUČAK ..... 60
LITERATURA ..... 1
IZVORI ..... 2
POPIS ILUSTRACIJA ..... 3

# UVOD

Brod kao plovno sredstvo predstavlja jedan složen konstrukcijski i hidrodinamički sustav. Njegove glavne karakteristike osnova su od koje polazi obuka novog stručnog osoblja za njegovu uporabu. Svaka situacija u kojoj se brod može zateći uvelike ovisi o njegovim unutarnjim čimbenicima određenim već pri projektiranju kao i o vanjskim čimbenicima koji svaku situaciju mogu uvelike promijeniti. Bitno je kvalitetno poznavanje ovih čimbenika i njihovo trajno uzimanje u obzir prilikom rada s brodom.

Brod kao plovno sredstvo potječe iz doba prošlosti te se svojim postepenim, a kroz 20. stoljeće i ubrzanim razvojem pokazao kao najisplativije sredstvo pomorsko-prijevozne usluge i time dobio na važnosti. Njegova glavna uloga prijevoz je putnika, roba i dobara iz jednoga u drugo mjesto na planeti Zemlji te zbog ove osnovne i glavne namjene bitno je imati obučene i osposobljene ljude koji su sposobni provesti sve procedure i postupke pravilno i sigurno.

Upravljanje brodom prilikom uplovljenja i isplovljenja iz luke jedna je od najkritičnijh faza koje brod prolazi na svom putovanju te kao takva ne smije nikada biti olako shvaćena. Kompleksnost jednog i drugog manevra sastoji se od složenih svojstava samoga broda, bilo da se radi o brodu sa jednim, dva ili više vijaka, utjecaja vanjskih čimbenika koji ponajviše ovise o hidrometeorološkoj situaciji, no u najvećoj mjeri o elemenu čovjeka koji donosi odluke i planira izvođenje, ali isto tako i provodi navedene manevre.

Kako bi u svakom trenutku bilo sigurno uploviti odnosno isploviti iz luke, u ovom radu ukazano je na bitne elemente ponašanja broda koji se moraju detaljno naučiti i poznavati. Na osnovu poznavanja ovih elemenata gradi se praktično iskustvo kroz uvježbavanje. Cilj rada bio je potaknuti na razmišljanje i ukazati kako je i kod najvećih prekooceanskih brodova ipak bitan element čovjeka koji nije uvijek nepogriješiv. Također, čovjek je taj koji mora sagledati sve aspekte situacije i razabrati što je pravilno učiniti u kojem trenutku.

Rad se sastoji od šest poglavlja od kojih prvo uvodi u osnovne dimenzije broda bitne za sagledavanje broda kao prijevozne jedinice. U drugom i trećem poglavlju pojašnjeni su elementi broda kao hidrodinamičkog sustava te glavna zadaća broda kao plovnog sredstva, odnosno njegov temeljni cilj za ostvarivanje poriva tj. savadavanje sile otpora. Četvrto poglavlje najvažnije je sa aspekta čimbenika koji utječu na brod. U njemu su pojašnjeni

unutarnji i vanjski čimbenici, kao i načini njihova određivanja sukladno njihovoj važnosti već pri samom projektiranju broda. Peto, odnosno najvažnije poglavlje samoga rada, razrađuje glavnu problematiku zbog koje je ovaj rad i nastao te su u njemu sadržani analiza i sinteza uputa za upravljanje brodom prilikom uplovljenja i isplovljenja iz luke. Šesto, zadnje poglavlje, iznosi posebne napomene vezano uz manevre upravljanja brodom te ukazuje na bitne činjenice koje svaki pomorski časnik mora uvijek imati na pameti.

Od znanstveno-istraživačkih metoda, osim analize i sinteze već prije utvrđenoga, kroz rad korištene su metoda dokazivanja, specijalizacije, generalizacije, klasifikacije i u najvećoj mjeri deskripcije.

# 1. BROD KAO PLOVNO SREDSTVO

Brod je plovno sredstvo namjenjeno za kretanje po moru, rijekama i jezerima. Njegova najčešća namjena je prijevoz robe i putnika unutarnjim ili međunarodnim plovnim putevima, ali može biti izgrađen u gospodarske, vojne, rekreacijske i razne druge svrhe.

Brod je temelj ukupne svjetske razmjene ekonomskih dobara gdje se kao takav pokazao zbog svojih prednosti, poput ekonomičnosti i velikog kapaciteta prijevoza dobara. Nažalost, zbog nedostataka npr. malih brzina plovidbe i potrebe multimodalnih transportnih grana zajedno sa posebno prilagođenim lukama za uplovljenje prekooceanskih divova, potrebno je pronaći optimalno riješenje prilikom same konstrukcije broda kako bi financijska ulaganja bila isplativa i iskoristiva.

Sukladno namjeni broda, koja mu je predviđena projektiranjem i izgradnjom, brod se mora odlikovati dobrim pomorskim, odnosno osnovnim svojstvima broda. Znanost koja se bavi osnovnim svojstvima broda naziva se *teorija broda* koja razmatra brod kao apsolutno kruto tijelo pod utjecajem različitih statičkih i dinamičkih sila i uvjete ravnoteže između njih.

Osnovna, pomorska svojstva broda su:

- plovnost – sposobnost broda da pluta na određenoj vodenoj liniji noseći određeni teret,
- stabilnost – sposobnost broda da se odupire djelovanju sila koje ga otklanjaju iz položaja ravnoteže te da se vrati u početni položaj po prestanku njihova djelovanja,
- nepotonivost – sposobnost broda da očuva plovnost i stabilnost pri oštećenju vanjske oplate i prodoru vode u jedan ili više vodonepropusnih dijelova,
- pokretnost - sposobnost broda da se pokrene i razvije određenu brzinu pod djelovanjem sile poriva,
- upravljivost – sposobnost broda da zadrži ili mijenja smijer kretanja određenim sredstvom upravljanja i
- pomorstvenost – skup svojstava koje brod pokazuje na nemirnom moru.

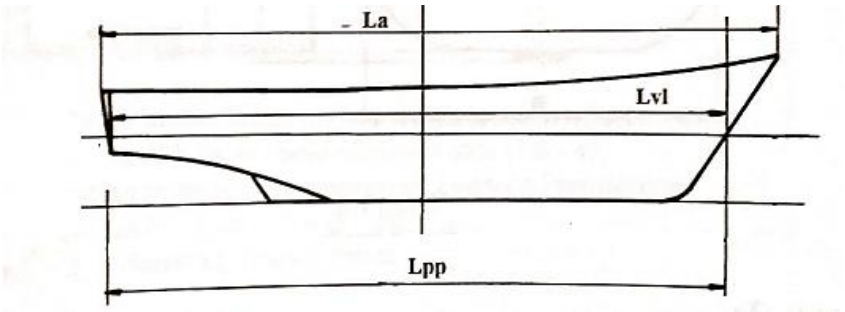
Plovnost, stabilnost i nepotonivost spadaju u dio teorije broda koji se naziva statika broda, a pokretnost, upravljivost i pomorstvenost u dio teorije broda koji se naziva hidrodinamika broda o kojima će detaljnije biti govora kroz rad.

## 1.1. TEMELJNE ZNAČAJKE BRODA

Od temeljnih značajki broda svakako su za problematiku ovoga rada bitne veličina broda, njegova forma, masa i raspodjela masa na brodu.

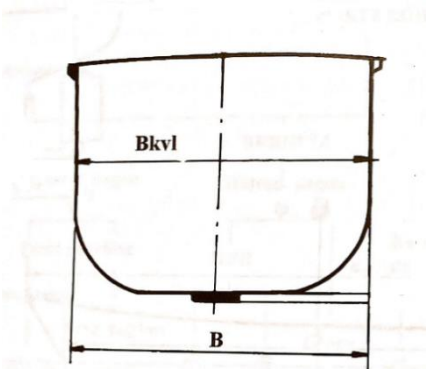
Veličina broda najčešće se definira preko duljine broda. Za rješavanje zahtjeva otpora i propulzije uzima se duljina vodene linije $L_{WL}$ ili najveća uronjena duljina $L_{OS}$ ako se radi o brodovima sa uronjenim pramčanim bulbom. U drugim problemima koristi se duljina između perpendikulara $L_{PP}$. Na slici 1. prikazane su glavne duljine broda:

- $L_A$ – duljina preko svega,
- $L_{WL}$ – duljina na vodenoj liniji i
- $L_{PP}$ – duljina između perpendikulara (duljina između pramčane i krmene okomice).




Slika 1. Duljine broda

Bitna odrednica veličine broda je i njegova širina prikazana na slici 2. gdje je $B$ konstrukcijska ili proračunska širina odnosno širina podvodnog dijela broda mjerena na presjeku glavnog rebra, između vanjskih bridova rebara, a $B_{KVL}$ je širina na konstrukcijskoj vodenoj liniji i mjeri se isto kao i konstrukcijska širina uzevši u obzir debljinu oplate.




Slika 2. Širina broda

Forma broda opisuje se koefiijentima punoće brodske forme. Koeficijenti punoće brodske forme su bezdimenzionalni odnosi kojima se brodska forma i njeni glavni presjeci uspoređuju s geometrijski definiranim tijelima odnosno plohama. Tako koeficijenti punoće brodske forme daju predodžbu o njegovoj punoći. Pet je koeficijenata brodske forme:

- koeficijent punoće vodene linije ($C_{WP}$) – je odnos površine vodene linije i površine pravokutnika dimenzija širine i duljine broda,
- koeficijent punoće glavnog rebra ($C_M$) – je odnos između površine podvodnog dijela glavnog rebra i pravokutnika dimenzija širine i gaza broda.
- koeficijent punoće istisnine ($C_B$) – je odnos između istisnine i volumena paralelopipeda sa stranicama duljine, širine i trima broda,
- uzdužni prizmatični koeficijent ($C_P$) – je odnos istisnine i volumena prizmatičnog tijela koje za osnovicu ima površinu glavnog rebra, a duljinu jednaku duljini broda i
- vertikalni prizmatični koeficijent ($C_{VP}$) – je odnos istisnine i volumena prizmatičnog tijela koje za osnovicu ima površinu vodene linije, a visinu jednaku gazu broda.

Masa broda označava se sa $m$ i predstavlja ukupnu masu broda zajedno sa ukrcanim zalihama, gorivom i mazivom, putnicima i njihovom prtljagom odnosno teretom. Od same mase broda za pomorstvo i ostvarivanje pomorsko-prijevozne usluge još je važniji raspored masa na brodu koji se definira položajem težišta sustava broda ($X_G$, $Y_G$, $Z_G$).

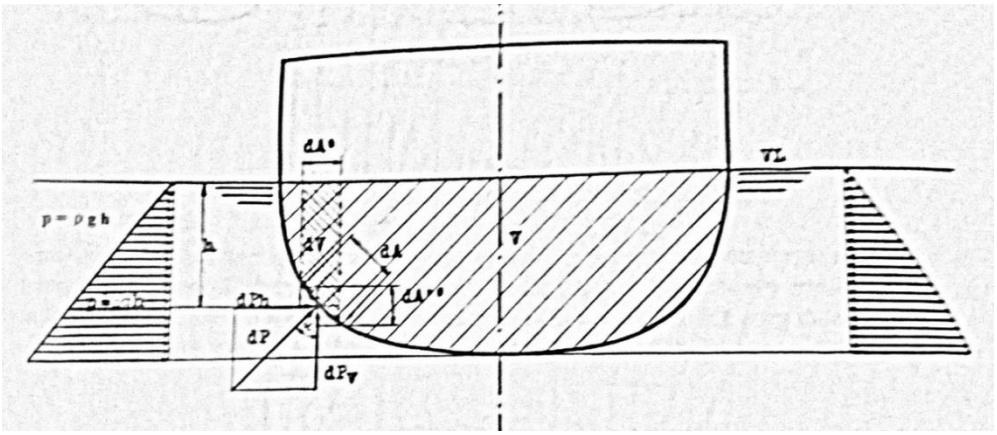
## 1.2. TRI UVJETA PLOVNOSTI BRODA

Plovnost broda jedno je od osnovnih svojstava broda. To je svojstvo broda da u neoštećenom stanju pluta na određenoj vodenoj liniji. Može biti uvjetna i bezuvjetna. Uvjetnu plovnost imaju tijela koja nisu potpuno zatvorena, ali u njihovu unutrašnjost ne može prodrijeti voda u kojoj plutaju, a imaju je brodovi koji, uz dobru vodonepropusnu podjelu unutrašnjosti i uz dovoljno nadvođe, ostaju sposobni za plovidbu bez obzira na oštećenja trupa. Bezuvjetnu plovnost imaju tijela gustoće manje od gustoće vode i potpuno zatvorena tijela čija je masa manja od mase vode koju bi istisnuli svojim volumenom.

Plovnost broda zasniva se na tri uvjeta plovnosti broda:

- Svako tijelo uronjeno u neku tekućinu, prema Pascalovom zakonu, izloženo je djelovanju hidrostatičkog tlaka. Prema Arhimedovom zakonu svako tijelo uronjeno u neku tekućinu istisne onu težinu tekućine koja je jednaka težini uronjenog tijela. Plovnost tijela ostvaruje se djelovanjem sile uzgona na svako tijelo uronjeno u

tekućinu koja je po svom iznosu jednaka težini uronjenog dijela broda. Prvi uvjet plovnosti jest da su sila uzgona i težina uronjenog dijela broda jednake po iznosu.




Slika 3. Stvaranje sile uzgona

- Drugi uvjet plovnosti jest da sila uzgona i sila težine uronjenog dijela tijela djeluju na istom pravcu okomitom na vodenu liniju u suprotnom smjeru.
- Treći uvjet plovnosti jest da brod mora imati stabilnu ravnotežu, odnosno da se vraća u suprotan položaj od položaja nagiba broda.

# 2. HIDRODINAMIKA BRODA

Hidrodinamika je samo jedna od grana znanosti hidromehanike, a bavi se zakonima gibanja tekućina i pojavama koje se javljaju prilikom djelovanja struje tekućine na tijelo koje graniči s tekućinom u gibanju.

Velika važnost vode u razvoju civilizacije kroz povijest ogledala se u mogućnostima transporta pomorskim putevima te je otkrivanje zakonitosti hidrodinamike omogućilo bolji razvoj plovnih sredstava kao i njihovu bolju iskoristivost.

Prvi temelji zakona hidrodinamike postavljeni su u 17. stoljeću kada su *Torricelli* i *Newton* postavili zakon o istjecanju tekućine koji kaže da je brzina istjecanja tekućine na dnu velike posude sa malim otvorom jednaka kao da tekućina slobodno pada s površine posude do otvora. Osnove klasične teorijske hidrodinamike postavljene su u 18. stoljeću zakonima o gibanju idealne tekućine kojega su postavili *Bernoulli, Euler* i *Lagrange*. Sama teorija gibanja idealne tekućine nije pridonijela rješavanju praktičnih problema, ali je poslužila kao osnovica mnogim budućim zakonima o ponašanju realne tekućine.

U 19. stoljeću nastala je jednadžba o gibanju viskozne tekućine te zakon gubitka energije prilikom strujanja vode kroz cijevi. Prvo sustavno istraživanje laminarnog i tubuentnog strujanja tekućine napravio je *Reynolds* te postavio jednadžbe turbulentnog strujanja. Najveći doprinos hidrodinamici dali su *Rankine* i *Froude* koji su otkrili zakone koji su omogućili praktično rješavanje problema kretanja broda te znanstveni pristup određivanja obika samog brodskog trupa. *Prandtl* je postavio teoriju graničnog sloja koja je omogućila daljnju analizu otpora trenja tijela koje je uronjeno u tekućinu.

Sva ova istraživanje i otkrića omogućila su tijekom 20. stoljeća ubrzani razvoj u području hidrodinamike što je utjecalo na razvoj pomorstva i brodogradnje. Uvođenjem računalne opreme u proces dizajniranja brodova i određivanje njihovih hidrodinamičkih karakteristika znatno se ubrzao proces projektiranja i proračuna brodova, ali je omogućen i složeniji razvoj i unaprijeđenje današnjih brodova.

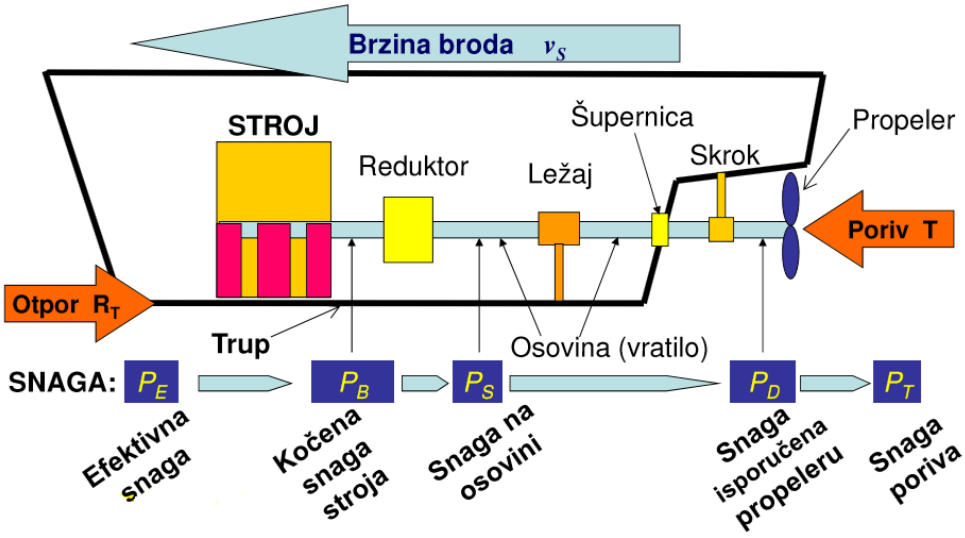
U ovom radu detaljnije će biti obrađena tematika hidrodinamike broda.

## 2.1. OSNOVNA PODRUČJA HIDRODINAMIKE BRODA

Hidrodinamika kao znanost koja se bavi proučavanjem zakonitosti gibanja tekućina kao i djelovanje tekućine na tijelo koje graniči sa tom tekućinom može se podijeliti na četiri

cjeline koje zasebno proučavaju određenu skupinu svojstava međusobnog djelovanja tekućine i broda.

S aspekta kretanja broda kroz tekućinu prva cjelina proučava otpor i propulziju broda. Kako bi se ostvarilo kretanje broda kroz tekućinu potrebno je stvoriti dovoljno veliku silu poriva koje će savladati silu otpora same tekućine. Kada sila poriva bude veća od sile otpora brod će se kretati u smjeru djelovanja sile poriva. Prema veličini sile poriva brod će ostvariti određenu brzinu kretanja kroz vodu. Prikaz djelovanja sile poriva na savladavanje sile otpora dan je na slici 4.




Slika 4. Savladavanje sile otpora silom poriva

Druga cjelina hidrodinamike proučava propulzore kao uređaje pokretanja broda i ostvarivanja sile propulzije te kavitaciju kao nepoželjan rizik pri radu svakog propelera sukladno uvjetima korištenja. Treća cjelina hidrodinamike bavi se svojstvom upravljivosti broda koji se u osnovi temelji na stabilnosti kursa broda i njegovoj okretljivosti. Svojstvo upravljivosti broda ovisi o glavnim dimenzijama i obliku trupa broda stoga je prilikom projektiranja bitno odrediti osnovne elemente upravljivosti broda. Posljednja, četvrta cjelina, proučava pomorstvenost broda. Pomorstvenost broda je svojstvo držanja broda na valovima, odnosno mogućnost manevriranja brodom te određivanje ponašanja broda na moru.

## 2.2. BROD KAO HIDRDINAMIČKI SUSTAV

Brod možemo promatrati kao hidrodinamički sustav iz razoga što pri svom kretanju kroz vodu razvija određenu brzinu uvjetovanu određenom snagom pogonskih strojeva i odgovarajućim propulzorom. Kretanju broda suprotstavljaju se hidrodinamičke i aerodinamičke sile koje se zajednički nazivaju otpor.

Silu otpora gibanju broda savladava sila poriva. Uređaji ili mehanizmi koji stvaraju silu poriva nazivaju se propulzori, a mogu biti aktivni i reaktivni. Aktivni propulzor stvara porivnu silu na temelju energije vjetra dok reaktivni stvara silu na temelju reakcije sa određenim medijem. Tako su brodski propulzori hidroreaktivni jer stvaraju silu poriva na temelju reakcije vode koju potiskuju iza sebe.

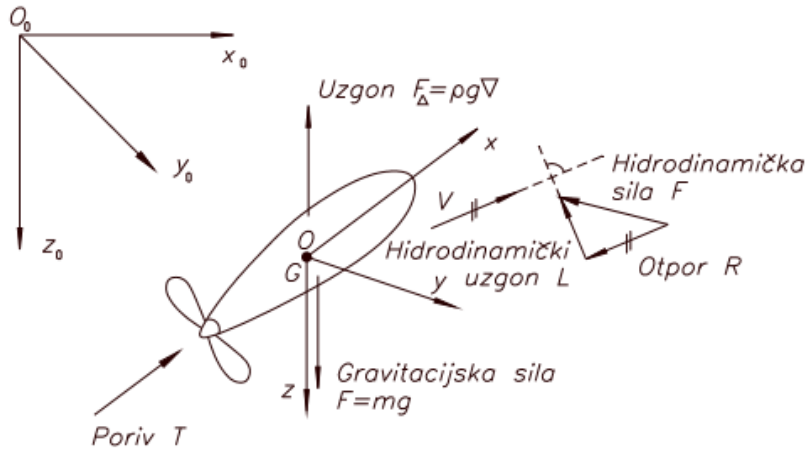
Brod kao plovno sredstvo mora imati dobra svojstva upravjivosti kako bi u svakom trenutku bilo moguće izabrati pravac kretanja broda ili ga promijeniti te zadržati pravac kretanja do određene pozicije. Svojstva upravljivsti broda u velikoj mjeri ovise o vanjskim utjecajima tako da je nužno postiči optimalnu sposobnost upravljivoti broda i na mirnom i na valovitom moru.

Navedena svojstva broda svrstavaju ga kao temeljno sredstvo u područje proučavanja hidrodinamike. Proučavanjem i poboljšanjem svojstava samoga broda postiže se sve bolja iskoristivost i ekonomičnost brodova današnjice.

# 3. TEMELJNE ZNAČAJKE BRODA KAO HIDRODINAMIČKOG SUSTAVA

## 3.1. SILE I MOMENTI KOJI DELUJU NA BROD

Na brod kao tijelo djeluju četiri nezavisne sile uzrokovane gravitacijom Zemlje, brzinom broda i djelovanjem brodskog propulzora. Sile koje djeluju na brod prikazane su na slici 5.




Slika 5. Sile koje djeluju na brod

Gravitacija Zemlje djeluje na brod kao i na okolnu vodu u koju je brod uronjen. Sila gravitacije ($G$) opisuje se kao umnožak mase broda ($m$) i ubrzanja Zemljine sile teže ($g$), odnosno $G=mg$. Hidrostatički uzgon je sila kojom tekućina djeluje na uronjeno tijelo suprotno smjeru gravitacije. Sila hidrostatičkog uzgona ($L$) jednaka je umnošku gustoće tekućine ($\rho$), ubrzanja Zemljine sile teže ($g$) i volumena uronjenog dijela tijela ($V$), odnosno $L=\rho gV$. Hidrodinamička sila ($F$) je sila kojom okolna voda oko broda djeluje na sam brod uslijed njegovog gibanja kroz nju. Ona se može razložiti na dvije komponente od kojih je jedna hidrodinamički uzgon ($L$) okomit na brzinu broda ($v$), a druga otpor ($R$) paralelan sa brzinom broda ($v$). Sila poriva ($T$) je sila koju stvara brodski propulzor. Njeno djelovanje suprotnog je smijera od sile otpora ($R$).

Međusobnim djelovanjem navedenih sila stvaraju se momenti od bitnog utjecaja na brod. Pošto se brod u plovidbi ili na vezu naginje oko neke osi, pojavom naginjanja javlja se i moment statičke stabilnosti koji se suprotstavlja naginjanju i vraća brod u prvotno stanje. Nastaje djelovanjem sprega sila i to sile uzgona čijim djelovanjem se uspravlja brod i težine koja ima tendenciju naginjanja broda. Ovisi o metacentarskoj visini broda, odnosno o obliku trupa broda. Metacentarska visina je točka u kojoj smjer sile uzgona presijeca uzdužnu

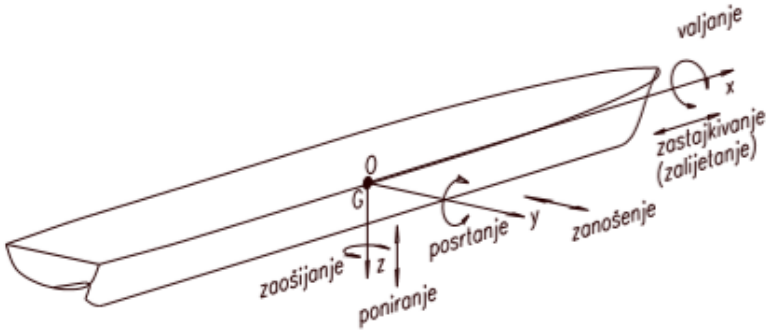
simetralnu ravninu brodskog trupa. Također, velik utjecaj imaju i vanjski momenti sila uzrokovani djelovanjem prilika iz okoline broda.

### 3.2. GIBANJA BRODA

Gibanja broda temeljno su svojstvo svakog broda koja moraju biti uzeta u obzir kako bi se brodu omogućilo ispunjenje njegove osnovne namjene. Gibanja broda mogu se razmatrati u više oblika i pri raznim okolnim utjecajima, no njihove glavne značajke definirane su orijentacijom gibanja u odnosu na tekućinu u kojoj se brod nalazi i kinematikom samoga gibanja.

Orijentacija gibanja može se prikazati u inercijskom koordinatnom sustavu, gdje se orijentacija gibanja u odnosu na tekućinu opisuju translacijskim i rotacijskim gibanjima oko koordinatnih osi brodskog koordinatnog sustava.

Gibanja broda, s obzirom na brodski koordinatni sustav, mogu se opisati pomoću šest varijabli. Drugim riječima, svaki brod svojim gibanjima ostvaruje šest stupnjeva slobode gibanja, odnosno tri pomaka u smijeru koordinatnih osi x, y, z i tri kuta zakreta oko tih osi.




Slika 6. Koordinatni sustav broda sa prikazanim gibanjima broda u šest stupnjeva slobode

Na slici 6. prikazan je brodski koordinatni sustav broda sa tri translatorna i tri rotacijaska gibanja broda. To su gibanja u smjeru koordinatnih osi x, y, z postavljenih prema navedenoj slici i oko njih.

Translatorna gibanja su:

- zastajanje ili zalijetanje (*eng. surging*) – u smijeru osi x,
- zanošenje (*eng. swaying*) – u smijeru osi y i

- poniranje (*eng. heavig*) – u smijeru osi z.

Rotacijska gibanja su:

1. ljuljanje ili valjanje (*eng. rolling*) – oko osi x,
2. posrtanje (*eng. pitching*) – oko osi y i
3. zaošijanje (*eng. yawing*) – oko osi z.

Od navedenih gibanja tri su oscilatornog karaktera (nakon odstupanja od početnog stanja mastoje se vratiti u početno stanje) pa se zovu njihanja. Njihanja broda su poniranje, ljuljanje i posrtanje.

Njihanja broda nastaju jedino u stanju stabilne ravnoteže kada se pri određenom gibanju broda javljaju stabilizirajuće sile, odnosno momenti, koji nastoje vratiti brod u prvobitan položaj. Pri ljuljanu i posrtanju javljaju se momenti poprečnog i uzdužnog stabiliteta broda, a pri poniranju moment stvaraju jednakost sila uzgona i težine broda.

Ostala tri gibanja ne mogu se smatrati oscilatornima jer u smjeru tih gibanja nema stanja stabilne ravnoteže.

Posljedice gibanja broda u šest stupnjeva slobode mogu biti od izrazito malog do izrazito katastrofalnog razmjera. Navedenim gibanjima broda može doći do: zapljuskivanja palube uz mogućnost oštećenja opreme na palubi, otežavanih uvjeta rada i posluživanja uređaja i instrumenata samog broda, pada brzine i povećanja troškova plovidbe, morske bolesti posade i putnika, udaranja broda o valove, naprezanja trupa i oštećenja brodske konstrukcije te u najtežim slučajevima loma brodske konstrukcije ili prevrtanja broda.

### 3.3. OTPOR BRODA

Kretanje broda ostvaruje se razvijanjem određene brzine broda s obzirom na snagu glavnih pogonskih strojeva broda i njegov propulzorski uređaj. Propulzor i pogonski strojevi stvaraju silu poriva koja teži savladavanju sile otpora broda. Tendencija sile poriva je potisnuti broda prema naprijed kako bi on uspješno dobio brzinu kroz vodu.

Otpor broda predstavlja hidrodinamičke i aerodinamičke sile koje se suprotstavljaju kretanju broda kroz vodu i zrak. Suprotnog je smijera od sile poriva te stoga sila poriva mora

biti veća kako bi uspješno savladala silu otpora i pokrenila brod. Otpor broda, pri određenoj brzini u vodi, predstavlja silu kojom voda djeluje suprotno od smjera gibanja broda.

Kada se brod kreće kroz vodu, na površini podvodnog dijela trupa djeluju hidrodinamičke sile kao reakcija mase vode na tijelo koje se u njoj giba. Neravnomjerno su raspoređene po površini podvodnog dijela trupa, a rezultanta njihove projekcije na uzdužnu ravninu predstavlja silu otpora vode. Smjer sile otpora suprotan je gibanju broda, odnosno sila otpora djeluje u smjeru strujanja vode.

Tri su osnovne komponente otpora: otpor trenja, otpor forme i otpor valova. Otpor trenja nastaje kao posljedica naprezanja između vode i oplate podvodnog dijela trupa broda. Ovisi o veličini i hrapavosti površine, viskoznosti i gustoći tekućine. Otpor forme, nazvan još i otpor virova, nastaje zbog zakrivljenosti brodskog trupa zbog čega se stvaraju razlike u brzini strujanja vode oko broda. Promjenom brzine strujanja vode dolazi do promjene tlaka koja uzrokuje nastanak virova. Otpor valova stvara se kada brod svojim gibanjem stvara valove na površini vode ili blizu nje. Valovi nastaju zbog razlike u tlakovima oko oplate uronjenog dijela trupa broda zbog čega dolazi do podizanja i spuštanja površine vode. U ovom procesu troši se određeni dio energije kako bi se savladale gravitacijske sile koje djeluju na čestice u tekućini. Sila koja održava stvoreni sustav valova koji se širi i putuje zajedno sa brodom naziva se otpor valova.

### 3.4. PROPULZIJA BRODA

Silu otpora broda potrebno je savladati kako bi brod ostvario kretanje naprijed, a to je moguće pogonskom snagom koju stvaraju brodski pogonski strojevi kroz pretvorbu energije uz njeno djelomično oslobađanje. Općenito, propulzija broda je pogonski sustav koji razvija silu poriva koja pokreće brod. Sam uređaj za pokretanje broda, na kojega se prenosi snaga sa pogonskih uređaja broda, naziva se propulzor, a sila koja nastaje djelovanjem propulzora naziva se sila poriva. Propuzor preuzima snagu pogonskog uređaja preko osovine i prijenosnih uređaja te je pretvara u porivnu silu.

Znanost koja se bavi pokretanjem i propulzijom broda proučava djelovanje te razvija i usavršava nove i postojeće vrste i tipove propulzora kao i načine propulzije. Do današnjeg su se dana raznovrsnost i broj tipova propulzora uvelike povećali. Kroz njihov razvoj mnogi su se pokazali neefikasnima te su s vremenom nestali iz upotrebe kao što je, u samim početcima

pomorskog prometa, to bilo bočno lopatasto kolo. Ono se danas zadržalo samo u pojedinim područjim unutarnjih plovnih voda u kojim ne dolazi do značajnijih promjena u razini vode.

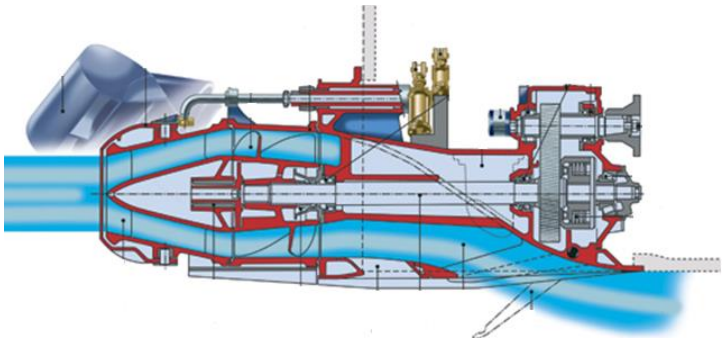
Najefikasnijm propulzorom pokazao se brodski vijak koji je svojim hidrodinamičkim svojstvima, u kombinaciji sa pogonskim sustavom, omogućio ostvarivanje najefikasnije brzine pa čak i današnjih prekooceanskih divova. Od pogonskih sustava, danas se u najčešćoj uporabi mogu pronaći dizel motori koji mogu biti i u kombinaciji sa plinskim turbinama.

### 3.4.1. Vrste propulzora

S obzirom na njihov način ostvarivanja sile poriva, propulzori se dijele u dvije osnovne skupine:

- mlazni propulzori koji vodi daju impuls prema natrag na temelju čega se ostvaruje pokretanje broda prema naprijed i
- propulzori za stvaranje sile poriva pomoću sile uzgona koja nastaje na njihovim pokretnim dijelovima.

Mlazni propulzori rade na principu usisavanja vode propelerom smještenim unutar brodskog trupa, koji je predstavljao svojevrsnu pumpu sa pramčane strane, koja bi se tada tlačila i izbacivala kao mlaz vode po krmi. Izgled mlaznog propulzora prikazan je na slici 7. Reakcija izbačene mase vode gurala bi okolnu vodu prema natrag te tako stvarala silu poriva broda prema naprijed. Prednost mlaznog propulzora je u tome što brodovi sa mlaznim propulzorima mogu ploviti i u plitkim vodama i u rijekama punih nanosa ili leda. Njihov nedostatak je što nisu ekonomični zbog maleiskoristivosti tako da su primjereni za pojedine vrste čamaca i hidrokrilne brodove kod kojih, kada im brzina prijeđe 40 čvorova, stupanj djelovanja mlaznog propulzora raste.



Slika 7. Vodomlazni propulzor

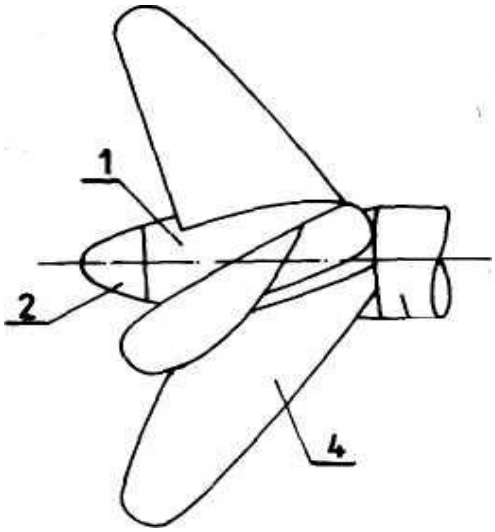
Propulzori za stvaranje sile poriva pomoću sile uzgona ostvaruju silu uzgona na svojim pokretnim dijelovima. Oni mogu biti vijčani propulzori ili kotači koji se okreću oko svoje horizontalne osovine sa fiksno učvršćenim ili prekretnim krilcima.

Kotači sa lopaticama smješteni na bokovima broda nisu pogodni za stvaranje poriva brodova koji plove morem. Kada bi se brod zaljuljao kotači bi izlazili iz vode što bi otežavalo zadržavanje smjera broda i dovodilo do opasnosti od oštećenja samih kotača.

Vijčani propulzor, odnosno brodski vijak, je takav tip propulzora koji stvara poriv pomoću sila uzgona koje nastaju na njegovim krilima prilikom gibanja kroz vodu. Pokazao se kao najefikasnije sredstvo brodske propulzije jer nije previše izložen negativnom utjecaju brodskog gaza, zaštićen je od udaranja valova i oštećenja prilikom sudara, može imati velik broj okretaja čime se povećava brzina broda, ne povećava širinu broda te zadržava dobar stupanj djelovanja s promjenom brzine. Jedini uvjet koji mora biti ispunjen za njegov efikasan rad jest da je pri plovidbi dovoljno uronjen u vodu kako ne bi izlazio iznad površine vode prilikom posrtanja broda na valovima.

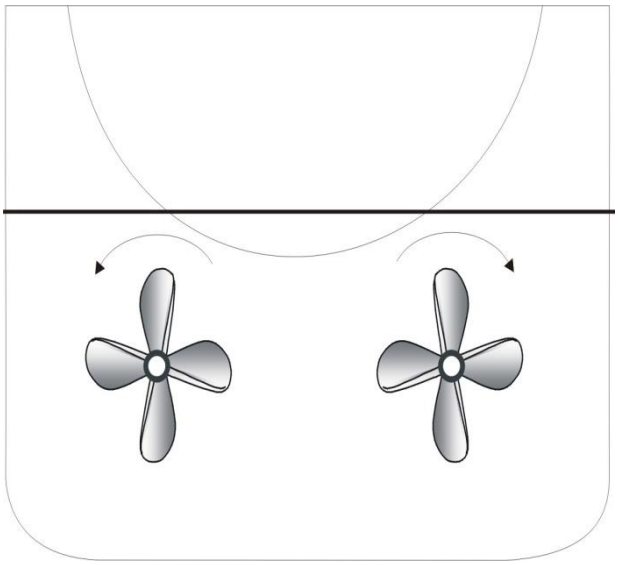
### 3.4.2. Brodski vijak

Brodski vijak je najraširenij tip brodskog propulzora. Kako je već prije navedeno, brodski vijak stvara silu poriva silom uzgona koja nastaje na njegovim krilima tijekom gibanja kroz vodu. On može imati od dva do osam krila, od kojih su u praktičnoj primjeni najčešće ustaljene izvedbe od tri ili četiri krila, koja su postavljena na koničnu glavinu. Krila i glavina se pri izradi najčešće lijevaju iz jednoga komada. Vijak se spaja na osovinu pomoću konusa i matice obrnuto od smjera okretanja vijka. Matica je pokrivena kapom zbog usmjeravanja vode koja se još naziva i strujna kapa. Glavni dijelovi vijčanog propulzora prikazani su na slici 8.




Slika 8. Dijelovi brodskog vijka: 1 – glavčina, 2 – strujna kapa,
3 – osovina, 4 – list vijka.

Smjer vrtnje vijka određuje se gledajući u vijak od krme prema pramcu. Time se desnokretni vijak definira kao vijak koji se u vožnji naprijed okreće u desno, dok je lijevokretni vijak onaj koji se u vožnji naprijed okreće u lijevo.



Slika 9. Lijevokretni i desnokretni brodski vijak

Brodski vijak s prekretnim krilima ima poseban mehanizam kojim se krila mogu zakretati oko vertikalne osi. Pri tome brodski pogonski strojevi stalno rade pod optimalnim uvjetima. Kod vožnje krmom ili zaustavljanja broda nije potreban poseban prekretni uređaj, odnosno spojka, jer se smjer poriva mijenja prekretanjem krila vijaka. Slika 10.a. prikazuje brodski vijak s prekretnim krilima.

Voith-Schneiderov propeler sastoji se od četiri ili šest lopatica koje su raspoređene po obodu okomito na ploču vodoravnog rotirajučeg kotača. Ovaj propeler prikazan je na slici 10.b. Rotacijom kotača voda struji oko lopatica i stvara silu poriva. Smjer ove sile ovisi o položaju lopatica na kotaču koje imaju mogućnost zakretanja. S obzirom na njihovu zakrenutost ostvaruje se poriv broda u određenom sjmeru jer ovaj propeler služi ujedno i kao kormilo broda. Ovakav propulzor ugrađuje se samo u one brodove kojima je dobra upravljivost primarna zadaća i od iznimne važnosti jer njegova sama konstrukcija je izrazito kompliciranа i osjetljiva te stoga i financijski zahtjevna.

Vijak u sapnici ušao je u uporabu kako bi se poboljšao stupanj djelovanja vijka. Ugrađuje se na brodove malog gaza, kao što su remorkeri, a čiji su vijci znatno opterećeni. Vijak u sapnici, zbog svog hidrodinamičkog presjeka, pri malim brzinama povečava silu poriva broda. Ova prednost nestaje pri većim brzinama jer je otpor sapnice veći od ostvarene sile poriva i zato su ovakvi vijci najbolju upotrebu pronašli kod tegljača. Slika 10.c. prikazuje vijak u sapnici.

Pramčani vijak (*bow-thruster*), prikadan na slici 10.d, je poprečno postavljen vijak na pramčanom dijelu broda. Smješten je u tunelu, a na stijenkama trupa može biti postavljana i mreža ili poklopac kako bi se smanjio otpor tijekom plovidbe. Olakšava manevriranje, a na jednan brod može se ugraditi jedan ili više ovakvih propelera.

Azipod sustav propulzije (*Azimuth Pod*) sastoji se od strujno oblikovanog tijela i glave koja u sebi ima smješten elektromotor. Ovakav propulzor može se okretati oko svoje osi za 360° te uvelike olakšava manevriranje brodom. Azipod sustav prikazuje slika 10.e.



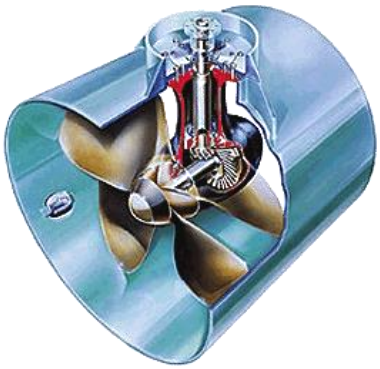
a)



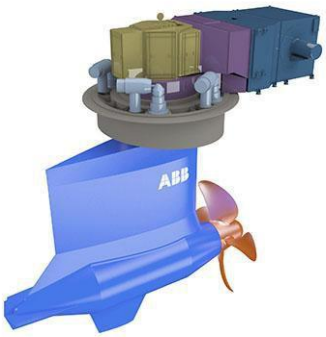
b)



c)



d)




e)

Slika 10. a) vijak s prekretnim krilcima, b) Voith-Schneiderov propeler, c) vijak u sapnici, d) pramčani propeler, e) azipodni sustav

## 3.5. OKRETLJIVOST BRODA

Okretljivost broda, kao jedno od njegovih temeljnih svojstava, je sposobnost broda da se u što manjem krugu i što brže okrene. Okretljivost je svojstvo broda da može mijenjati kurs, odnosno da se može okretati u lijevu ili u desnu stranu.

Nužno je spomenuti i svojstvo stabilnosti gibanja broda koje teži održavanju broda u stacionarnom stanju gibanja, odnosno održavanju željenog kursa. Kod svakog pojedinog broda potrebno je razlučiti svojstvo okretljivosti od svojstva stabilnosti gibanja, jer ova dva proturječna svojstva nikada ne mogu, kod niti jednog broda, biti jednako efikasna.

Okretljivost broda postiže se kormilarskim uređajem koji, osim za promjenu kursa, služi i za zadržavanje i stabilizaciju željenog smjera kretanja. Također je nužno napomenuti i važnu ulogu kormilarskog uređaja prilikom uplovljenja i isplovljenja broda, plovidbi pri malim brzinama kao i u vožnji krmom, gdje kormilarski uređaj predstavlja jedan bitan

element na kojega čovjek može utjecati, a isto tako kormilarskim uređajem postiže se stabilnost broda na kursu njegovom pravilnom uporabom.

### 3.5.1. Kormilo

Kormilo je vertikalna ploha određene površine postavljena na podvodnom dijelu krme iza brodskog vijka. Može se okretati oko vertikalne osovine i otkloniti za željeni kut pomoću kormilarskog uređaja. S obzirom na veličinu i duljinu broda potreban je i list kormila sukladne veličine. Površinu lista kormila moguće je odrediti matematičkim izrazom (1) kako slijedi:

$$F = \frac{L*T}{K} \ [\mathrm{m}^2] \tag{1}$$

gdje je:

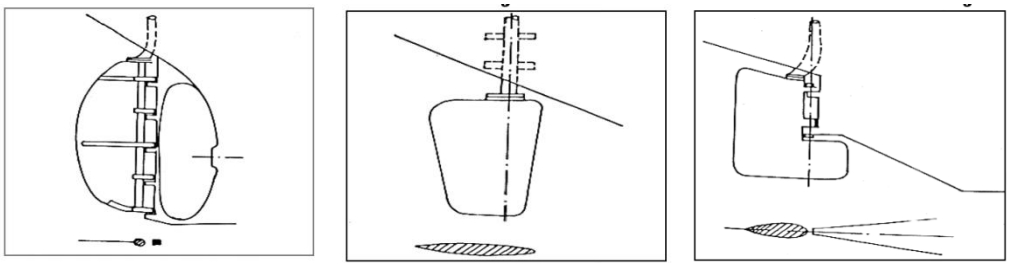
- $L$ – duljina broda,
- $T$ – gaz broda i
- $K$ – koeficijent koji se kod trgovačkih brodova kreće između 50 i 65.

Kormilo, kao najvažnija površina za upravljanje brodom, sastoji se od lista i osovine. Osnovni princip rada kormila je stvaranje sile određenog smjera i intenziteta koja se prenosi na trup broda preko osovine i tako ostvaruje upravljanje brodom. Sila koja nastaje na kormilu je približno proporcionalna kvadratu brzine broda tj. brzine strujanja umanjene za strujanje u području kormila.

Površina lista kormila ne smije prijeći određeni iznos površine jer je sa većom površinom lista kormila potrebna jača sila za njegovo zakretanje, a time i jači kormilarski uređaj, pa su takve izvedbe za brodove vrlo skupe.

Prema obliku kormila razlikujemo osnovne vrste:

- obično ili nebalansno kormilo kojemu je cijela površina lista kormila iza osovine kormila,
- balansno kormilo kojemu je od 10% do 30% površine plohe iza osovine kormila čime je potrebna manja sila za njegovo okretanje i
- polubalansno kormilo koje se koristi na brodovima koji ne mogu koristiti balansno kormilo zbog oblika njihove krmene statve.



a) b) c)

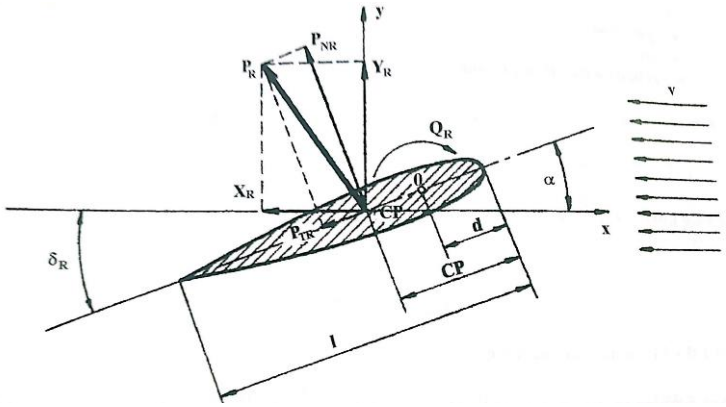
Slika 11. Tipovi kormila: a) obično, b) balansno, c) polubalansno

Dok je brod u stanju mirovanja, kormilo nema nikakvog učinka. Kada se brod pokrene i u stanju je gibanja, voda počne strujati uz njegov bok. Vodena struja koja prolazi stvara tlak na kormilu koje zakreće brod u željenom smjeru.

### 3.5.2. Djelovanje sila na kormilo

Pojedini brod može imati jedno ili više kormila postavljenih iza brodskih vijaka. Otkloni kormila ograničeni su na 35° do 40° jer pri tim kutevima imaju najveću efektivnost, ali ona naravno ovisi i o brzini broda. Hidrodinamičke karakteristike kormila ovise o brzini strujanja, napadnom kutu i geometrijskim karakteristikama kormila.

Djelovanje sila na kormilo prikazano je na slici 12. Kada se kormilo otkloni za neki kut $\delta_R$ od sredine, stvori se napadni kut $\alpha$ u odnosu na smjer nastrujavanja vode brzinom $v$.



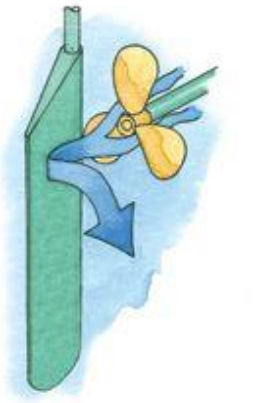

Slika 12. Djelovanje sila na kormilo

Zbog nesimetrične raspodjele tlaka nailaskom na list kormila, nastaje hidrodinamička sila $P_R$, koja djeluje iz centra tlaka *CP*. Centar tlaka je udaljen za $x_{CP}$ od čela profila i njegov položaj ovisi o veličini napadnog kuta i sa povećanjem napadnog kuta pomiče se od čela prema repu. Ukupna hidrodinamička sila na slici 12. rastavljena je na komponente u odnosu

na smjer strujanja prema koordinatnim osima x i y i u odnosu na sam profil. Komponenta u smjeru osi x naziva se otpor $X_R$, a u smjeru osi y uzgon $Y_R$. Kada gledamo u odnosu na profil imamo normalnu silu $P_{NR}$ i tangencijalnu silu $P_{TR}$ sile kormila. Najvažnija od navedenih sila je sila uzgona $Y_R$ kojom se ostvaruje potreban moment za upravljanje brodom. Kvaliteta kormila će biti veća što je odnos između sile uzgona i otpora veći, odnosno što je veća sila uzgona $Y_R$ od sile otpora $X_R$. Sila $P_{NR}$ stvara moment u odnosu na osovinu kormila *O*, koji mora dati kormilarski stroj za zakretanje kormila.

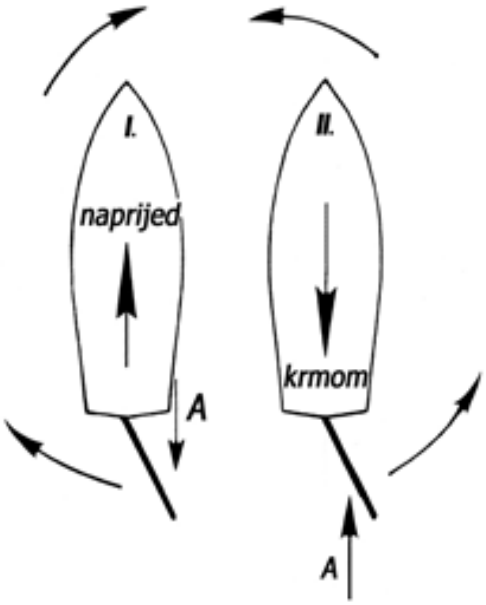
### 3.5.3. Djelovanje kormila na brod

Kormilom se, zbog djelovanja tlaka struje vožne i struje vijka, brod može okretati u lijevu ili desnu stranu i na taj način se njime upravlja u vožnji naprijed ili krmom. Kada je brodu u vožnji naprijed kormilo postavljeno u sredinu, strujanje vode prolazi usporedno uz obje plohe lista kormila i ne stvara se nikakv otpor. Posljedica ovoga je dobro zadržavanje pravca kretanja broda što bi trebalo tako biti kada ne bi bilo utjecaja vanjskih čimbenika kao što su vjetar, struja i nagib broda.



Slika 13. Djelovanje vode na plohu otklonjenog kormila

No, u situaciji kada se u vožnji naprijed kormilo postavi u lijevu ili desnu stranu, kako je prikazano na slici 13., na prednjoj plohi kormila tlak raste zbog struje kretanja broda i djelovanja struje vijka, a na suprotnoj strani stvara se podtlak. Nastali tlakovi nastoje kormilo vratiti u sredinu te je zbog toga potrebna jaka sila kormilarskog uređaja koja bi ga držala u željenom položaju. Zbog zadržavanja stabilnog položaja zakrenutog kormila krma počinje izbijati u lijevo, a pramac u desno kada je kormilo zakrenuto u desnu stranu, odnosno ako je kormilo zakrenuto u lijevu stranu krma će izbijati u desno, a pramac u lijevo, što je prikazano na slici 14.




Slika 14. Prikaz djelovanja otklona kormila na brod

Kada brod vozi krmom, struja kretanja djeluje suprotno. Dakle, kada se kormilo otkloni u desno krma će izbijati u desno, a pramac u lijevo i obratno u slučaju otklona u lijevo. No, kormilarenje u vožnji krmom je uvelike otežano zbog utjecaja samog brodskog vijka.

Najveća učinkovitost kod gibanja broda prema naprijed postiže se pri kutevima otklona kormila od 30° do 35°, jer povećanjem kuta otklona kormila povećava se i krak djelovanja sile kormila. Pri gibanju broda krmom, povećanjem kuta otklona kormila smanjuje se krak djelovanja sile kormila te je djelovanje sile kormila manje. Zbog toga, u vožnji krmom, najveći učinak sile kormila je pri otklonu kormila od 20°. Stoga, ni u praksi nije ustaljeno upotrebljavanje kuta otklona kormila broda u vožnji krmom većeg od 20° jer se time samo povećava opterećenje na kormilarskom uređaju i kormilu.

# 4. UPRAVLJIVOST BRODA

Upravljivost broda je svojstvo broda koje omogućuje u svakom trenutku izbor pravca kretanja kao i njegovu promjenu odnosno omogućuje brodu kretanje po željenom pravcu. Ovo svojstvo nije kod svih brodova u jednakoj mjeri dobro izvedeno te stoga neki brodovi ne ovladaju ovim svojstvom u potpunosti, ali ga moraju imati u dovoljnoj mjeri kako bi plovidba bila sigurna. Bitna razlika ovoga i ostalih svojstava broda je u tome što je u ovom svojstvu broda bitan utjecaj čovjeka.

Sustav broda, u smislu upravljivosti, sastoji se od tri dijela:

- broda kao tijela kojim se upravlja,
- sredstva koje ostvaruje upravljačku silu i
- unutrašnjoeg upravljačkog organa na kojega djeluje čovjek.

Upravljivost broda sadrži dva proturječna svojstva: stabilnost gibanja odnosno stabilnost kursa i okretljivost broda o kojima je već prije bilo govora.

Svaki brod posjeduje urođena svojstva upravljivosti koja ovise o njegovoj izvedbi i stanju brodskog trupa, kormilarskom uređaju i propulzijskom sustavu. Upravljivost u periodu iskorištavanja broda ovisi o rutama kojima brod plovi, prolazima i kanalima te lukama u koje brod pristaje. Upravljivost u kriznim situacijama kao što je izbjegavanje sudara na moru, spašavanje čovjeka iz mora ili tegljenje često ovisi i o neočekivanim faktorima kao što su odluke zapovjednika broda i uvježbanost brodske posade.

## 4.1. POVIJESNI RAZVOJ UPRAVLJIVOSTI BRODA

U razdobljima prošlih stoljeća nije se mnogo važnosti pridavalo savladavanju sile otpora prilikom plovidbe brodom. Brodogradnja nije bila niti blizu današnje razine, no ipak je od samih početaka brodogradnje uviđeno kako npr. izdubljeno deblo drveta plovi brže od običnog. S vremenom je bilo i brodograditelja koji su instinktivno brodovima davali formu koja bi imala najbolje karakteristike plovidbe. Prednost prošlih stoljeća bila je u tome što se tada još uvijek plovilo malim brzinama te se i brodogradnja mogla mirno razvijati. Umjetnost gradnje brodova prenosila se s koljena na koljeno.

No, vrlo brzo nakon pojave parnog stroja pojavili su se i brodovi pogonjeni parnim strojem, a ne samo na jedra kao u dotadašnje vrijeme. Ovi su brodovi još k tome imali i prve oblike propelera. Međutim, konstrukcija brodova je i dalje bila prilagođena jedrenjacima, pošto je mehanička propulzija tada spadala u pomoćnu vrstu pogona. No, kako je dalje tekao razvoj pomorstva općenito, razvila se i potreba za većim brzinama brodova te je tako mehanički pogon došao u prvi plan što je dovelo do revolucije.

U isto vrijeme, tijekom 19. stoljeća došlo je do još jedne velike promjene u brodogradnji, a to je prelazak sa drvene na čeličnu gradnju. Pojavila se i jaka potreba za određivanjem potrebne snage motora za određeni brod i željenu brzinu. Tijekom 19. stoljeća pojavila se ideja o upotrebi modela broda u brodskim ispitivanjima kako bi se što lakše dobili željeni rezultati, što je dovelo do znatne prekretnice jer su se modelom mogla ispitati svojstva broda prije njegove gradnje od pomorstvenosti, okretljivosti, savladavanja otpora do upravljivosti i manevarkih svojstava kao i ograničenja broda.

## 4.2. VANJSKI ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA UPRAVLJIVOST BRODA

Svaki brod će se, s obzirom na izvedbu njegove konstrukcije i manevarskih svojstava, u različitim uvjetima ponašati različito. Zbog toga je za uspješno manevriranje potrebno znati kako na njega djeluju vanjski čimbenici. Od vanjskih čimbenika koji utječu na brod najviše utjecaja imaju:

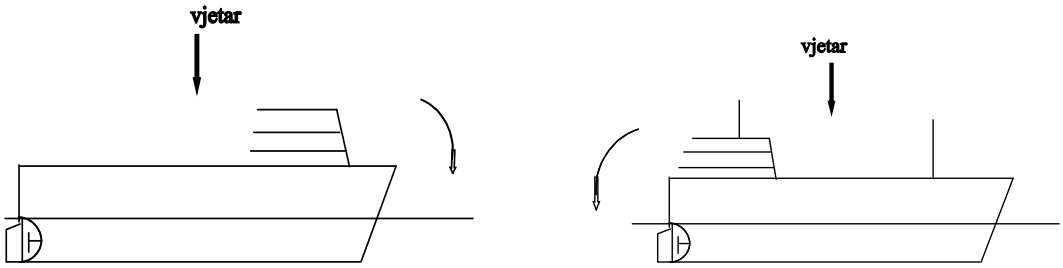
- vjetar,
- valovi,
- struja i
- plitka voda.

Utjecaj vetra na brod ovisi o rasporedu i površini nadvodnog dijela broda na kojega vjetar ima izravan utjecaj, ali isto tako i o uronjenom dijelu broda tj. njegovom trimu ili gazu. Što je nadvodni dio broda veći, povećava se utjecaj vjetra na brod kao i kod malog podvodnog dijela broda. Vjetar normalno djeluje na brod tako da ga nastoji okrenuti prema zavjetrini. Sila djelovanja vjetra je sila razmjerna kvadratu brzine vjetra, a ovisi o poprečnom presjeku brodskog trupa na kojega vjetar okomito djeluje i o obliku nadvodnog dijela broda. Ako se udvostruči brzina relativnog vjetra, sila kojom vjetar djeluje na brod

učetverostručit će se. Djelovanje vjetra prilikom manevriranja ne smije se zanemariti te ga se mora uzeti u obzir kao važan čimbenik osobito iz sigurnosnih razloga.

Sila djelovanja vjetra ovisi o brzini samog vjetra, poprečnom presjeku površine brodskog trupa na kojega vjetar djeluje i o obliku nadvodnog dijela broda te o gazu broda.

Kakav će učinak vjetar imati na brod, lako je zaključiti prema obliku nadvodnog dijela broda. Ako je nadvodni dio visok, a brod ima malen gaz, ućinak vjetra bit će veoma velik, a otpor broda vjetru zanemariv. U slučaju kada brod duboko gazi te ako je nadvodni dio nizak te pruža vjetru malenu površinu na koju može djelovati učinak vjetra na taj brod bit će minimalan. Također, važno je napomenuti kako utjevaj vjetra ovisi i o stanju nakrcanosti broda. Prazan brod je mnogo osjetljiviji na utjecaj vjetra od potpuno nakrcanog broda. Brodu koji je zaustavljen, pod djelovanjem vjetra može pramac odnosno krma padati niz vjetar što prikazuje slika 15. Ako je brod na ravnoj kobilici, a veći dio nadgrađa mu se nalazi na pramcu, pramac će jače padati niz vjetar (slika 15.a). Ako je brod na ravnoj kobilici, a veći dio nadgrađa mu je na krmi, tada će krma jače padati niz vjetar (slika 15.b).

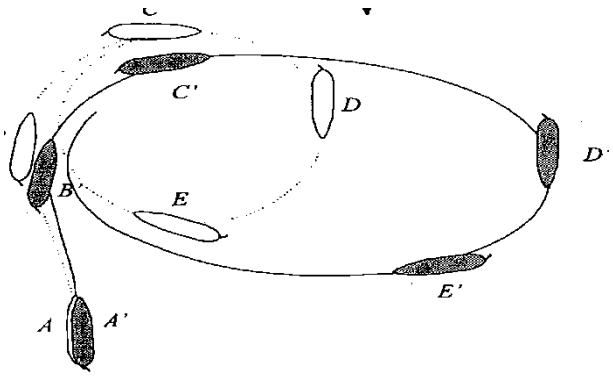



a) b)

Slika 15. Utjecaj vjetra na zaustavljeni brod

Brod u plovidbi može ploviti vjetrom u pramac, s bočnim vjetrom ili vjetrom u krmu. Ako brod plovi vjetrom u pramac ili u krmu neće doći do zanošenja broda već samo do promjene brzine broda, njegovog zaleta i zaustavnog puta o kojima će biti govora u daljnjem tekstu. Ako brod plovi naprijed s bočnim vjetrom bit će zanošen u desno ili u lijevo, ovisno o strani sa koje dolazi vjetar. Hoće li brod s bočnim vjetrom težiti prihvaćanju, odnosno plovidbi pramcem u vjetar, ili padanju, tj. plovidbi niz vjetar, ovisi o brzini broda, rasporedu nadgrađa i o trimu čiji su utjecaji ranije objašnjeni. Brod u plovidbi naprijed se najduže zadržava u položaju bočnog vjetra, dok se pramac teško postavlja u vjetar. Brod u plovidbi krmom uvijek ide krmom u vjetar bez obzira na njegov izboj. Točka

okreta broda pomoče se prema krmi pa je poluga momenta vjetra na pramcu veća te time opadanje pramca jače, što prikazuje slika 16.




Slika 16. Oblik kruga okreta broda pod utjecajem vjetra

Zbog jakog učinka vjetra na brod, svaki manevar brodom pod njegovim utjecajem mora se vršiti velikom snagom strojeva i velikim otklonom kormila jer u suprotnom izlaganje vjetru puno duže traje i teže je savladati silu djelovanja vjetra.

Utjecaj valova svakako je negativan za brod i njegovu iskoristivost jer u najvećoj mjeri smanjuje brzinu broda. Brod je konstruiran kako bi plovio na ravnoj kobilici, a pramčani i krmeni trim također nepovoljno utječu na brzinu broda. Pri vožnji po uzburkanom moru brod se zbog valova ljulja oko uzdužne osi i posrće oko poprečne osi, a istodobno djelvanje ove dvije pojave naziva se valjanje. Pri jačem posrtanju i ljuljanju broda kormilo i brodski vijak izlaze iz vode te se djelovanje tlaka na plohu kormila smanjuje što uvjetuje znatan pad i smanjenje brzine kao i negativan utjecaj na upravljivost broda. Ljuljanje povećava otpor broda, a zbog toga što na obje strane broda ne djeluju iste sile otpora, brod skreće s kursa. Ako brod jako posrće, brodski vijci izlaze iz vode što dovodi do njihovog brzog okretanja. Ovako povećano okretanje stvara velik teret za pogonske strojeve te je u plovidbi na valovitom moru potrebno smanjiti brzinu vožnje.

Struja predstavlja značajan vanjski čimbenik koji utječe na brod. Otpor podvodnog dijela trupa broda sličan je otporu nadvodnog dijela trupa broda djelovanju vetra. No, djelovanje sile struje na brod ima veći utjecaj zbog gustoće medija u kojemu djeluje. Sila djelovanja struje ovisi o brzini struje, poprečnom presjeku oblika podvodnog dijela trupa broda i o obliku podvodnog dijela trupa broda. Najveći problem struja stvara prilikom pristajanja broda uz stacionarne objekte, obale i gatove kao i kada struja mijenja svoj smjer i jakost. Ako se manevrira brodom na način da sila struje na njega djeluje s boka, treba očekivati kako će struja nositi brod unatoč manevriranju.

Utjecaj plitke vode različito se očituje na različite brodove što ovisi o veličini svakog pojedinog broda, obliku podvodnog dijela trupa broda i o brzini broda. Opažanja tijekom vožnje i pokusi na modelima dokazali su kako dubina vode mnogo utječe na brzinu i otpor broda. Kada se brod nađe u plitkoj vodi, zbog njegovog kretanja valovi se povećavaju, a u najvećoj mjeri dolazi do povećanja krmenog vala. U plitkoj vodi se otpor broda povećava sa porastom brzine broda. Ova pojava objašnjena je na način da se kretanje čestica koje brod potiskuje pramcem i vuče za sobom prenosi na ostale čestice okolne vode te dolazi do trenja i na morskom dnu. Zbog otpora trenja dolazi do smanjenja brzine broda koji uvjetuje i smanjenje broja okretaja brodskog vijka. Za razliku od plovidbe na otvorenom moru, gdje se nalazi dovoljno vodenog prostora kako bi se čestice vode, čije je kretanje pokrenuto kretanjem broda, gibale slobodno, u plitkoj vodi njihovo kretanje je ograničeno dubinom te nastaje trenje čestica vode o dno i o obalu kanala kojim brod plovi. Otpor broda koji tada nastaje smanjuje brzinu broda do 30% brzine koju bi imao kada bi plovio u području dovoljne dubine.

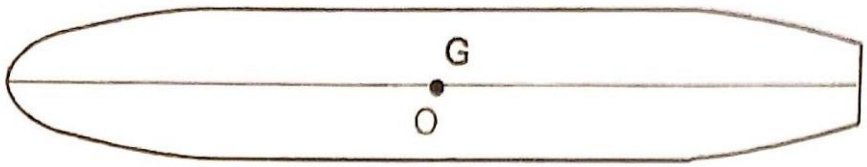
Prilikom plovidbe broda u plitkoj vodi dolazi do pojave koja se naziva brodski čučanj (eng. *squat*), odnosno brod prilikom plovidbe u plitkoj vodi ispred sebe potiskuje veliku količinu vode čime se ispred broda nagomilava veliki vodeni brijeg. U području velikog vodenog brijega, ispred broda, stvara se područje visokog tlaka. Kako voda koju brod gura mora proći natrag iza broda, ili uz bokove broda ili ispod kobilice, a s obzirom da se brod nalazi u području plitke vode, dolazi do naglog ubrzanja strujanja vode ispod samoga broda. Ovo ubrzanje uzrokuje pad tlaka koji povlači za sobom dublje uronuće broda, odnosno njegov vertikalni pad. Ova pojava je izrazito opasna jer plovidbom prevelikim brzinama u području plitke vode može doći i do nasukavanja broda. Neki od pokazatelja plovidbe u području plitke vode, na koje treba obratiti veliku pozornost, su ti da:

- valovi koje brod stvara ispred sebe postupno rastu,
- kut kojega valovi zatvaraju sa uzdužnicom broda postaje sve veći,
- opadaju manevarska svojstva broda, brod je tromiji, a kormilo slabije sluša,
- povećanje gaza kada dubinomjer pokazuje smanjenje dubine,
- indikator broja okretaja vijka pokazuje pad koji može biti i do 20% i
- smanjenje brzine bez utjecaja čovjeka na brod.

## 4.3. UNUTRAŠNJI ČIMBENICI KOJI DJELUJU NA UPRAVLJIVOST BRODA

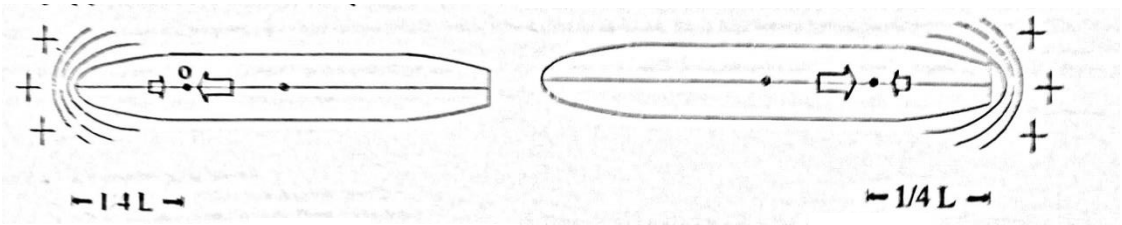
Upravljivost broda ovisi i o svojstvima broda kao plovnog sredstva koji su unaprijed predodređeni njegovim projektiranjem i konstrukcijom. Čimbenici koji moraju biti razmotreni radi dobre upravljivosti i prilikom manevriranja brodom od iznimne su važnosti kako bi plovidba bila što uspješnija, efikasnija i prije svega sigurna te ih svaki pomorski časnik mora dobro poznavati. Ovo znanje se ponajviše stječe iskustvom.

Točka oko koje se brod okreće po kružnici naziva se točka okreta broda. Točka okreta broda bi se, kada bi brod bio na ravnoj kobilici u stanju mirovanja, bez utjecaja sila i pri mirnom vremenu, nalazila u blizini sustavnog težišta broda što prikazuje slika 17. S obzirom kako su ovo idealno zamišljeni uvijeti, u kojima se brod gotovo nikada ne nalazi, u stvarnim situacijama točka okreta broda pomaknuta je iz svog osnovnog položaja.




Slika 17. Točka okreta broda koji miruje

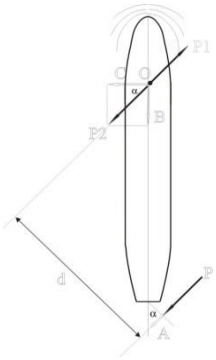
U vožnji broda prema naprijed, na brod djeluju dvije sile od važnog utjecaja na točku okreta. Prva je sila kretanja broda naprijed odnosno sila vožnje broda, a druga je sila uzdužnog otpora na pramcu uzrokovana kretanjem broda prema naprijed i guranjem velikog sloja vode ispred broda. Te dvije sile morale bi biti u ravnoteži kako bi točka okreta ostala nepromijenjena, no kako je sila vožnje jača u odnosu 100:25 zbog toga se i točka okreta broda pomiče prema naprijed i nalazi na približno jednoj četvrtini duljine broda od pramca što je prikazano na slici 18.a. U vožnji krmom situacija je suprotna jer se sila uzdužnog otpora stvara na krmenom dijelu broda. Točka okreta se tada pomiče prema krmi i nalazi približno na četvrtini duljine broda od krme. Točka okreta u vožnji krmom prikazana je na slici 18.b.




a) b)

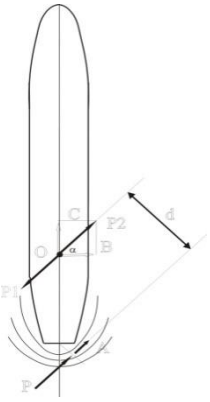
Slika 18. Točka okreta broda u vožnji: a) naprijed, b) krmom

Na položaj točke okreta broda utječu i druge sile koje također utječu na kretanje broda, a to su sile na kormilu, bočne sile vijka, pramčani bočni potiskivač, djelovanje vjetra, struje i valova. Moment okreta broda razlikuje se prilikom vožnje broda naprijed i vožnje broda krmom. U vožnji broda naprijed točka okreta pomaknuta je ispred sustavnog težišta broda i nalazi se na četvrtini dužine broda od pramčane statve. Time je krak, odnosno poluga kojom moment okreta broda djeluje, velik što brodu daje bolju okretljivost. U slučaju pretežnog broda, ako je pramac broda više uronjen od krme, točka okreta pomiče se još više prema naprijed, što brodu daje još bolju okretljivost, ali smanjuje stabilnost broda u kursu. U sučaju zatežnog broda, točka okreta pomiče se prema krmi. Djelovanje momenta okreta broda u vožnji naprijed prikazano je na slici 19.



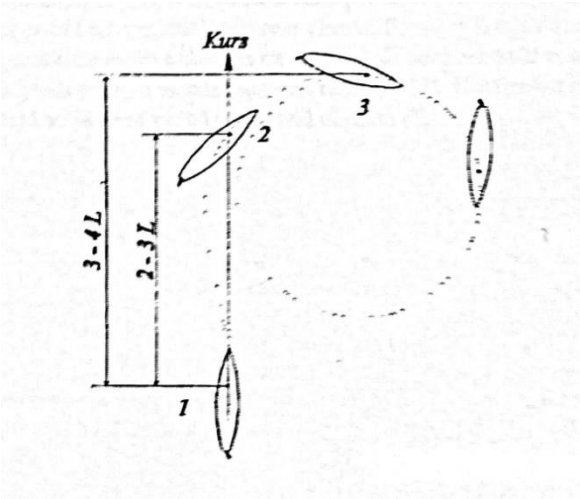

Slika 19. Moment okreta broda u vožnji naprijed

U vožnji broda krmom kormilo slabije djeluje. Manji je krak, odnosno poluga djelovanja momenta okreta broda zbog čega je manji i sam moment. Prilikom vožnje broda naprijed struja vožnje i struja vijka pozitivno djeluju na kormilo, no pri vožnji krmom struja vijka negativno utječe na kormilo te je kod nekih brodova skoro i nemoguće kormilariti u vožnji broda krmom. Djelovanje momenta okreta u vožnji krmom prikazano je na slici 20.




Slika 20. Djelvanje momenta okreta u vožnji krmom

Kut okreta broda je onaj kut kojega brod napravi pri stalnom otkolonu kormila pri konstantnoj brzini. On nije kod svih brodova jednak te ovisi prije svega o samom kutu otklona kormila, brzini i gazu broda te duljini broda kao glavnom čimbeniku. Čim se kormilo otkloni u stranu, u slučaju prikazanom na slici 21. u desno, kormilo broda vrši izboj u lijevo zbog sile koja djeluje na krmenom dijelu broda. Ovaj izboj tijekom kretanja jača zbog nastojanja pramca broda da zadrži kretanje uzrokovano tromošću broda.




Slika 21. Krug okreta broda

Na samom početku, u prvoj fazi okreta, od točke 1 do točke 2, brod se zanosi bočno na suprotnu stranu od strane otklona kormila. Brod se pomiče poprečno, najviše njegov krmeni dio. Prije nego što brod započne sam okret, prijeđe približno dvije do tri dužine broda. U drugoj fazi pramac se počinje okretati u željenom smjeru, odnosno sila kormila tada savladava moment tromosti mase broda. Brzina okretanja raste, smanjuje se krug okreta, nakon čega se brod dalje nastavlja ravnomjerno okretati. Putanja između točaka 1, 2, i 3 razvučena je i nepravilna tijekom čega se brod okrene za 90° te dalje jednolično nastavlja okret ukoliko nema utjecaja vanjskih čimbenika. Tijekom okreta broda pramac broda kreće se po zamišljenoj i manjoj kružnici nego krma broda. Pramac broda kreće se tijekom cijelog kruga okreta unutar njega dok krma izlazi van te tangenta na krug okreta sa uzdužnicom broda zatvara kut zanošenja odnosno devijacije krme od kruga okreta. Prilikom određivanja kruga okreta broda određuje se i vrijeme kruga okreta za 180°.

Kako bi manevriranje brodom bilo što uspješnije, potrebno je poznavanje kruga okreta jer u suprotnom može čak doći i do sudara ako se izbjegavanje nepravodobno započne. Također je bitno prilikom ulaska u kanale, tjesnace i uske prolaze započeti manevar okreta na vrijeme kako bi plovidba i posada bili što sigurniji.

Zalet broda je put koji brod prijeđe od pozicije broda na kojoj su njegovi strojevi zaustavljeni do pozicije na kojoj se brod zaustavi vozeći strojevima svom snagom krmom. On je različit za različite brzine broda te se, kako bi se omogućilo dobro poznavanje broda i njegovih svojstava, određuje za sve stupnjeve brzina. Također se određuje i slobodan zalet koji predstavlja put kojega brod prijeđe od pozicije na kojoj su mu strojevi zaustavljeni do pozicije na kojoj se brod stvarno zaustavi bez utjecaja strojeva. Duljina zaleta, i jednog i drugog, ovisi o veličini broda, površini krila brodskog vijka, snazi pogonskih strojeva, brzini broda u trenutku zaleta te stanju nakrcanosti broda.

Vrijeme prebacivanja stroja iz vožnje naprijed u vožnju krmom predstavlja ono vrijeme koje je potrebno, nakon što se strojevi zaustave u vožnji naprijed i prebace u vožnju krmom, da brod prihvati vožnju krmom. Potrebno je pričekati određeno vrijeme od zaustavljanja strojeva u vožnji naprijed jer se osovina vijka nastavlja rotirati te nakon nekog vremena prebaciti strojeve u vožnju krmom. Ovaj čimbenik potrebno je odrediti za sve stupnjeve rada brodskih pogonskih strojeva.

Od čimbenika koji djeluju na brod također je bitno poznavati i djelovanje sredstava za vez na brod. Brodovi mogu biti vezani konopima, čelik čelima ili lancima, no u najčešćoj su uporabi konopi. S obzirom na kojem dijelu broda se nalaze i kako rade prema obali tako se i nazivaju što je prikazano na slici 22.

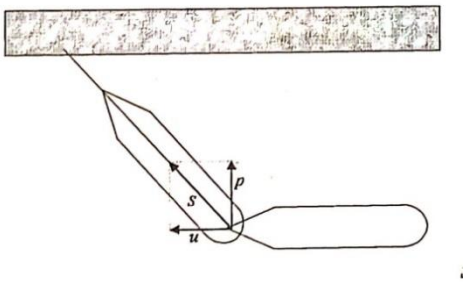



Slika 22. Vezni konopi: 1) prednji pramčani konop, 2) pramčani bočni konop, 3) pramčani spring, 4) krmeni spring, 5) krmeni bočni konop, 6) stražnji krmeni konop

Radi boljeg razumijevanja kako i na koji način rade vezni konopi, treba zamisliti brod kao polugu na koju djeluje konop koji se povlači određenom silom *S* u određenom smjeru, ovisno o tome gdje je konop vezan.

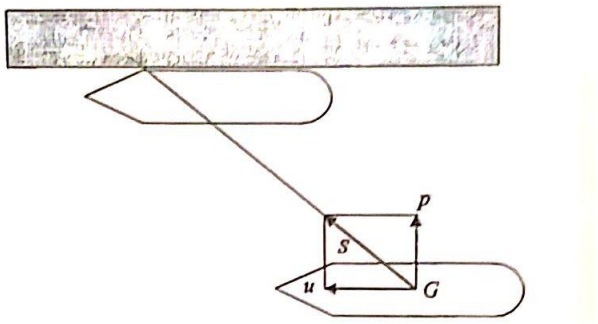
U slučaju privlačenja pramčanog konopa, pramac broda pomicat će se prema naprijed i prema obali pod djelovanjem sile privlačenja *S*, dok će se krma istovremeno udaljavati od

obale (slika 23.). Povlačenjem krmenog konopa krmaće se približavati obali, a pramac udaljavati.



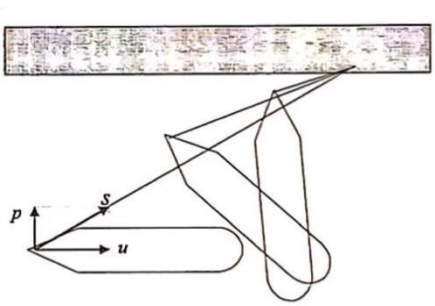

Slika 23. Djelovnje veznih konopa: prednji pramčani konop

Kada bi se konop povlačio točno iz težišta broda, brod bi se pomicao naprijed te bi se istovremeno približavao obali bez zakretanja, dakle pramac i krma broda ostali bi paralelni, što prikazuje slika 24. Isto bi se dogodilo i u slučaju povlačenja broda prema natrag te bi brod ostvario kretanje krmom.



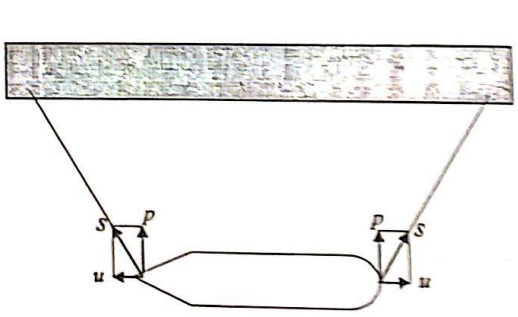

Slika 24. Djelovanje veznog konopa iz težišta broda

Ukoliko povlačimo konop koji sa broda prema obali radi kao spring, u ovom slučaju pramčani, brod će se početi kretati krmom, a pramac broda približavat će se obali (slika 25.). U slučaju povlačenja istog takvog konopa na krmenom dijelu broda, brod će se kretati naprijed, dok će se krma približavati obali.




Slika 25. Djelovanje veznih konopa: pramčani spring

U sličaju kada bi se brod paralelno privlačio obali pritezanjem prednjeg pramčanog i stražnjeg krmenog konopa, ne bi došlo do većeg napredovanja niti pramca niti krme prema obali, već bi se oni jednakomjerno i pravilno približavali (slika 26.). Razlog tome je da su sila djelovanja pramčanog i krmenog konopa jednake po iznosu, ali suprotnog smjera te se poništavaju zbog čega brod ostvaruje kretanje kao da se kreće iz svog težišta.

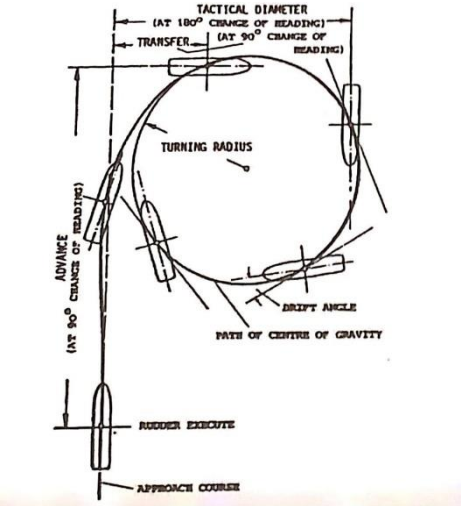



Slika 26. Djelovanje prednjeg pramčanog i stražnjeg krmenog konopa istovremeno

Osim veznih konopa, velik utjecaj za brod ima i korištenje sidra kod manevriranja kao i opreme za sidrenje. Njihova uporaba često dolazi do izražaja prilikom okretanja broda u malom manevarskom prostoru, skretanja broda prilikom otkazivanja rada kormilarskog uređaja, u neposrednoj opasnosti za brod, prilikom zaustavljanja broda ukoliko je došlo do otkazivanja pogonskih strojeva, smanjivanja izboja pri vožnji krmom, prilikom uplovljenja u vez četverovez ili prilikom uplovljenja broda na vez sidro. Korištenje sidra pri okretanju broda ponajviše dolazi do izražaja kod brodova sa jednim vijkom kako bi se što lakše savladao izboj krme. Ono se koristi tako da se obara sa one strane na koju želimo izvršiti okret.

## 4.4. PROCJENA SVOJSTAVA UPRAVLJIVOSTI PRILIKOM PROJEKTIRANJA BRODA

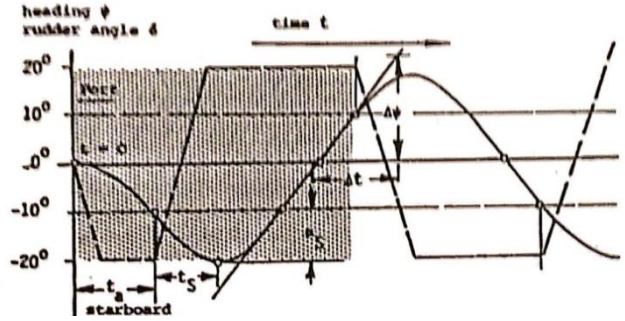
Upravljivost svakog broda mora se procijeniti već prilikom njegovog projektiranja. Može biti procjenjena proračunski, na temelju baza podataka o brodovima sličnih konfiguracija ili modelskim ispitivanjima. Procjena svojstava upravljivosti donosi se na temelju rezultata manevra okretanja, Z-manevra i manevra zaustavljanja, dok su Z-manevar, spiralni pokus i pokus izvlačenja bitni i za određivanje stabilnosti kursa. Navedeni manevri standardizirani su manevri koji se provode prilikom ispitivanja broda. Pri tome, definirana ispitna brzina broda je ona brzina koja je je očekivana brzina plovidbe u područjima za koja je potrebna normalna upravljivot.




Slika 27. Manevar okretanja

Pokus procjene manevra okretanja broda, prikazan na slici 27., potrebno je provesti preko oba boka broda sa otklonom kormila 35°, odnosno maksimalnim otklonom kormila broda. Veličine koje je potrebno odrediti prilikom izvođenja ovog manevra su taktički promjer, napredovanje te konačna kutnua brzina i kutna brzina stacinarnog kruženja broda. Kako bi se navedene veličine mogle pouzdano odrediti, potrebno je napraviti okret brodom od minimalno 540° kako bi se tijekom procjene moglo korigirati utjecaj struje i vjetra. Taktički promjer i napredovanje prikazuju se kao bezdimenzionalne veličine ako su njihove veličine podijeljene duljinom broda. Iz omjera duljine broda i polumjera okretanja dobiva se bezdimenzionalna mjera kutne brzine broda.

Slijedeći od pokusa koji se izvode je Z-manevar, prikazan na slici 28., koji se može izvoditi kao manevar Z-10°/10° u kojemu su otklon kormila i promjena kursa 10°, zatim kao manevar Z-20°/20°u kojemu su otklon kormila i promjena kursa 20°. Preporučeni manevar je Z-10°/10° jer se pri njegovom izvođenju mogu bolje odrediti pojedina svojstva upravljivosti, no isto tako je moguće napraviti i Z-20°/10°.

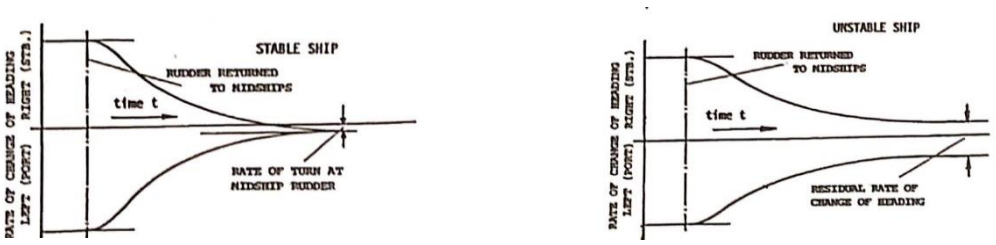



Slika 28. Prikaz rezultata Z-manevra (Z-20°/10°)

Za slučaj čiji su rezultati prikazani na slici 28., Z-manevar se izvodi na način da se pri postignutom stabilnom gibanju broda kormilo otkloni za 20° i drži mirno što je više moguće. U trenutku promjene kursa za 10° kormilo se prebacuje 20° u suprotnu stranu. Nakon izvršenog prebacivanja kormila, brod još neko vrijeme nastavlja zaokret u prvotnu stranu otklona kormila, smanjujući kutnu brzinu sve dok ona ne padne na 0. Tada brod počinje zaokret u stranu novog otklona kormila. Kada brod ponovno promijeni kurs za 10°, kormilo se ponovno prebacuje na suprotnu stranu za 20°. Ovaj postupak se provodi dok brod ne napravi pet izvršenja promjene kursa, a veličine koje se određuju ovim manevrom su vrijeme početnog okreta, vrijeme prekida kruženja i premašaj kursa.

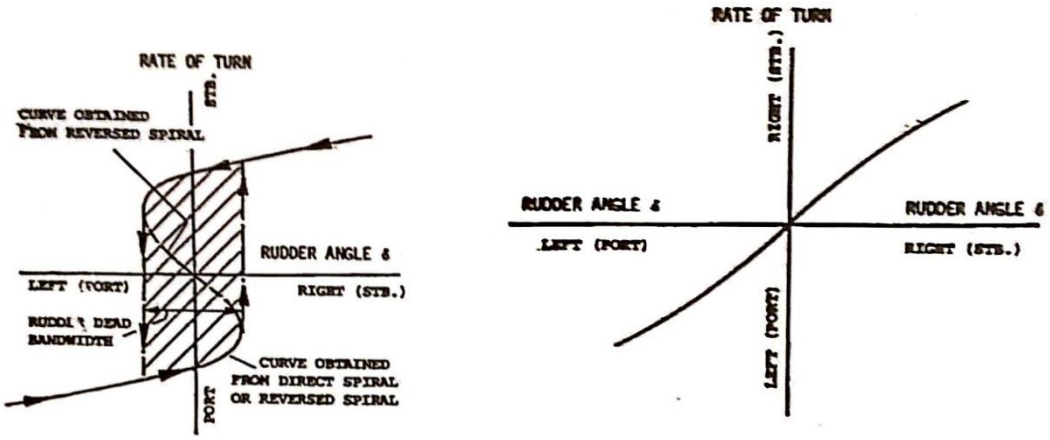
Pokus početka kruženja izvodi se radi dobivanja informacija o prijelaznim pojavama nakon otklona kormila, prilikom stacionarnog pravocrtnog gibanja. Provodi se sa kutevima otklona kormila od 10°i 20°, a tijekom njegove provedbe mjere se vremenske promjene kursa i kutne brzine broda.

Pokus izvlačenja bitan je za dobivanje podataka o dinamičkoj stabilnosti broda u kursu. Brod se dovodi u kružno gibanje, nakon čega se kormilo vraća u sredinu broda. Mjeri se kutna brzina broda koja kod dinamički stabilnog broda treba težiti nultoj vrijednosti. Pokus se provodi preko oba boka broda sa ciljem određivanja moguće nesimetrije. Rezultati pokusa izvlačenja zorno se prikazuju kao na slici 29.




Slika 29. Prikaz rezultata pokusa izvlačenja za stanilan i nestabilan brod

Direktni spiralni pokus provodi se u nekoliko slijedova kruženja kojima se utvrđuje ovisnost parametara stacionarnog kruženja broda o kutu otklona kormila. Ovaj pokus traje vrlo dugo te je osjetljiv na vremenske uvjete. Provodi se tako da se komilo otkloni za 20° lijevo, gdje se drži dok kutna brzina ne postane konstantna, nakon čega se kormilo vraća za 5° te se tako ponovno drži dok se ne postigne konstantna kutna brzina. Navedeni postupak se ponavlja kroz raspon otklona kormila od 20° na jednu stranu do 20° na drugu stranu te ponovno natrag. Rezultati ovog pokuza prikazuju se u dijagramu kao što je prikazano na slici 30.

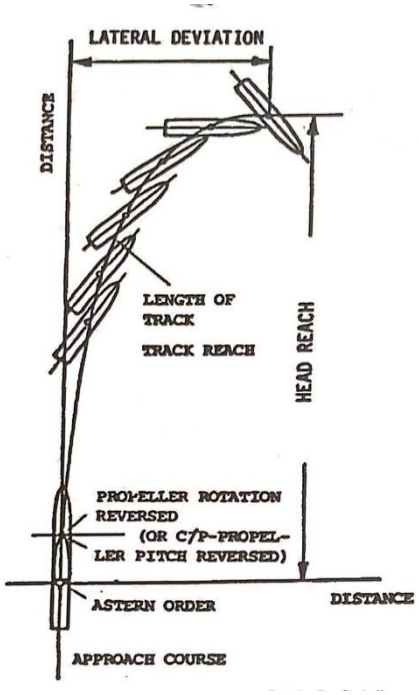



a) Rezultati nestabilnog broda b) Rezultati stabilnog broda

Slika 30. Rezultati spiralnog pokusa

Obrnuti spiralni pokus određuje cijelu petlju nestabilnosti, a rezultati se prikazuju iscrtkano kao na slici 30.a. Postupak provođenja obrnutog spiralnog pokusa radi se tako da se malim otklonom kormila brod dovede u kruženje u smjeru tražene kutne brzine. U trenutku kada je tražena kutna brzina postignuta, kormilo se postavlja tako da brod drži traženu kutnu brzinu smanjenjem gibanja kormila sve dok vrijednost kutne brzine ne postane stabilna. Postupak se ponavlja za područje kutnih brzina koje odgovaraju otklonu kormila od oko 15°.

Pokus zaustavljanja provodi se iz pune manevarske brzine primjenom maksimalne snage strojeva krmom. Pokusom se mjeri uzdužni i poprečni doplov te vrijeme izvršenja od izdavanja naredbe stroju krmom do početka obrnute vrtnje propelera. Pokus zaustavjanja prikazan je na slici 31.




Slika 31. Pokus zaustavljanja

Procjena svih ovih svojstava tijekom provedbe pokusa u veikoj mjeri provodi se paralelno. Tako se mogu paralelno dobiti bolji rezultati o svojstvu držanja kursa te se skraćuje vrijeme potrebno za mjerenje svih veličina kao i financijski izdaci pri testiranjima. Također, određivanje ovih svojstava navedenim pokusima bitno je kako bi uporaba i eksploatacija broda bila kvalitetno i na pravilan način izvedena.

# 5. ANALIZA UPUTA ZA UPRAVLJANJE BRODOM PRILIKOM UPLOVLJAVANJA I ISPLOVLJAVANJA IZ LUKE

Prije uplovljavanja u bilo koju luku svaki učen i iskusan pomorac treba veoma pozorno i dobro proučiti priručnike i pomorske navigacijske karte vezano za ograničenja i prilike u svakoj pojedinoj luci. Također je važno da su zapovijedi podređenima prilikom uplovljenja, odnosno isplovljenja, jasne i nedvosmislene te na vrijeme zadane. Potrebno je prije same provedbe manevra uplovljenja ili isplovljenja unaprijed točno odrediti poziciju na koju se brod želi dovesti, bilo da je to pristajanje bokom uz obalu ili četverovez, odnosno isplovljava li se od obale ili iz četveroveza.

Svaki dio manevra mora biti pomno isplaniran kako bi se unaprijed spriječili mogući neželjeni događaji. Sam plan manevra provodi se u četiri faze:

- proučavanje zadaće,
- proučavanje situacije,
- plan manevra i
- pričuvni manevar, osnosno manevar izvlačenja.

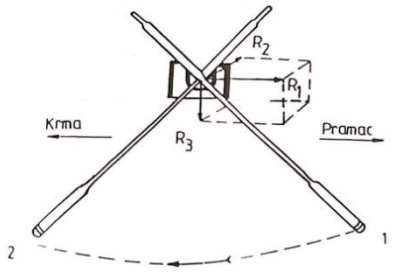
## 5.1. UPRAVLJANJE BRODICOM NA VESLA

Upravljati brodicom na vesla znači brodicom izvesti određeni manevar veslom i kormilom na najjednostavniji i najsigurniji način. Svaka brodica na vesla oprema se određenim brojem vesala i kormilom gdje se veslima brodica pokreće naprijed, krmom ili se zaustavlja, dok kormilo služi za upravljanje brodicom u određenom smjeru i za njeno okretanje.

Kada se veslo kreće kroz vodu, stvara se pojačani pritisak na strani lista vesla koja se nalazi u smjeru kretanja vesla. Sa suprotne strane lista vesla taj pritisak pada. Tijekom veslanja, voda teče iz područja povećanog u područje sniženog tlaka. Sila potrebna za pokretanje vesla savladava silu otpora vode, prenosi se na samu brodicu koja time ostvaruje kretanje.

Tijekom veslanja, veslo zapravo služi kao poluga kojom se sila sa veslača prenosi na brodicu. Veslo kao poluga, što je prikazano na slici 32. ima svoj oslonac u izbi, pri čemu je

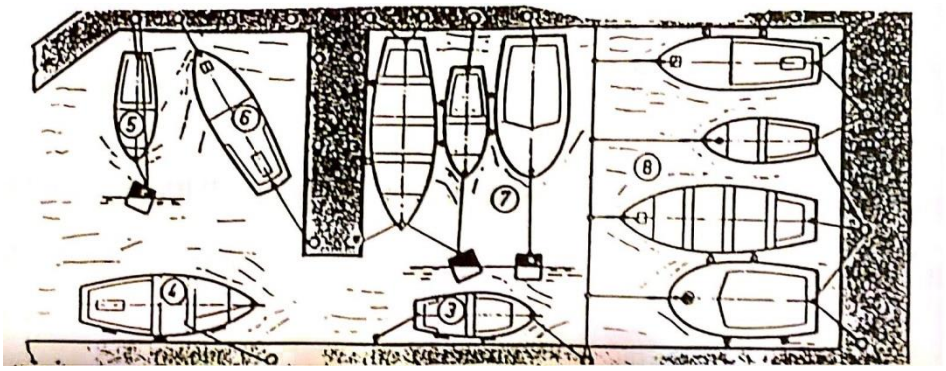
držak vesla u rukama veslača, a list vesla provlači se kroz vodu. Ako se veslo postavi u krajni položaj, pod brojem 1, a zatim se povlači prema zadnjem položaju, na slici pod brojem 2, na veslo djeluju komponente sila $R_1$, $R_2$ i $R_3$ koje se preko izbe prenose na brodicu.




Slika 32. Djelovanje vesla na brodicu

Komponenta $R_1$ je sila propulzije vesla koja potiskuje brodicu prema naprijed odnosno krmom visno o smjeru guranja vesla. Njena veličina ovisi o veličini sile koju na veslo primjenjuje sam veslač i o položaju lista vesla u vodi. Najvećeg je iznosa kada veslač primjenjuje najveću silu i kada je list kormila postavljen okomito u vodi jer tada djeluje najvećom površinom. Komponenta $R_2$ zakreće pramac u suprotnu stranu od strane na kojoj djeluje veslo, dok komponenta $R_3$ djeluje na brodicu tako što ju naginje.

Kod uplovljavanja brodicom na vesla, odnosno njenim pristajanjem uz obalu, potrebno je napomenuti kako je moguće pristati bočno, u četverovez ili pramcem na obalu, prikazano na slici 33. te sukladno tome pri manevriranju se primjenjuju različiti postupci.




Slika 33. Načini priveza brodice uz obalu

Prilikom pristajanja bočno uz obalu brodica se na dovoljnoj udaljenosti od obale usmjeri malo ispred mjesta planiranog za pristajanje. Brzinu je potrebno smanjiti, a po potrebi se može i kočiti mjenjanjem smjera veslanja. Već u samoj blizini obale vesla se uvlače u

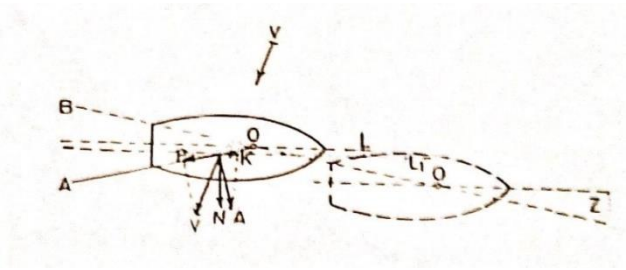
brodicu, a kormilo se prebacuje na suprotnu stranu od obale kako bi se brodica dovela paralelno sa obalom. Ako je potrebno, u slučaju vjetra ili struje, mogu se uvući samo ona vesla na strani pristajanja, dok se vanjskim veslima može dodavati impuls potreban za savladavanje sila koje brodicu guraju od obale. U trenutku kada brodica pristane uz obalu, na obalu se dobacuju pramčani i krmeni konop i brodica se veže. Kod uplovljenja u četverovez, bilo krmom ili pramcem, brodicom na vesla pristaje se tako da se ispred mjesta priveza brodica okrene pramcem, odnosno krmom prema bali te se zavesla prema obali koliko je potrebno kako bi brodica imala dovoljno brzine da pristane uz obalu i kada se vesla uvuku. Po pristajanju uz obalu, brodica se veže. Posebnu pozornost potrebno je posvetiti ako se prilazi plitkoj vodi u kojem je slučaju obali potrebno prilaziti pramcem sa znatno smanjenom brzinom. Ukoliko se ne želi pramcem nasukati na obalu, po krmi se ispušta sidro te se zadržavanjem brodice postepeno približava obali.

Isplovljenje, tj. otplovljenje sa obale vrši se tako da se brodica udalji dovoljno od obale kako bi se moglo nesmetano veslati veslima. Postupak se izvodi tako da se, nakon odvezivanja veza brodice, brodica otisne od obale ili se čakljom izvodi iz veza.

## 5.2. UPRAVLJANJE BRODICOM NA JEDRA

Upravljanje brodicom na jedra, odnosno jedrenje je vještina upravljanja brodicom pomoću vjetra i jedra. Potrebno je pomoću jedra pod utjecajem vjetra i kormila izvršiti željene manevre brodicom.

Radi boljeg razumjevanja upravljanja brodicom na jedra, najprije treba proučiti djelovanje jedra, odnosno vjetra, na brodicu, što je prikazano na slici 34.

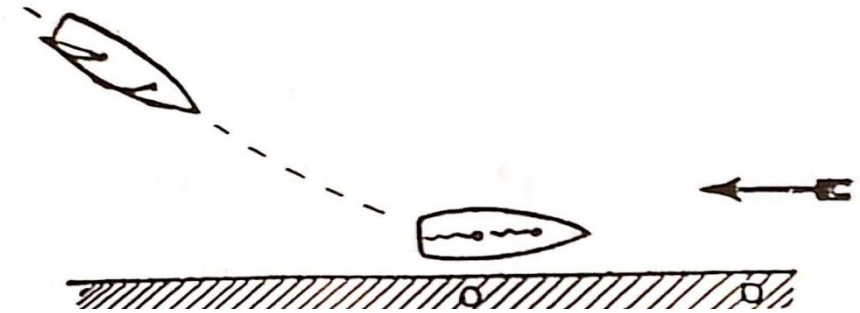



Slika 34. Djelovanje jedra na brodicu

Zamišljena sila vjetra (*V*) u točki u kojoj djeluje na brodicu, rastavlja se na dvije komponente od kojih jedna klizi po površini jedra te nema utjecaj na jedro (*P*), a druga (*A*)

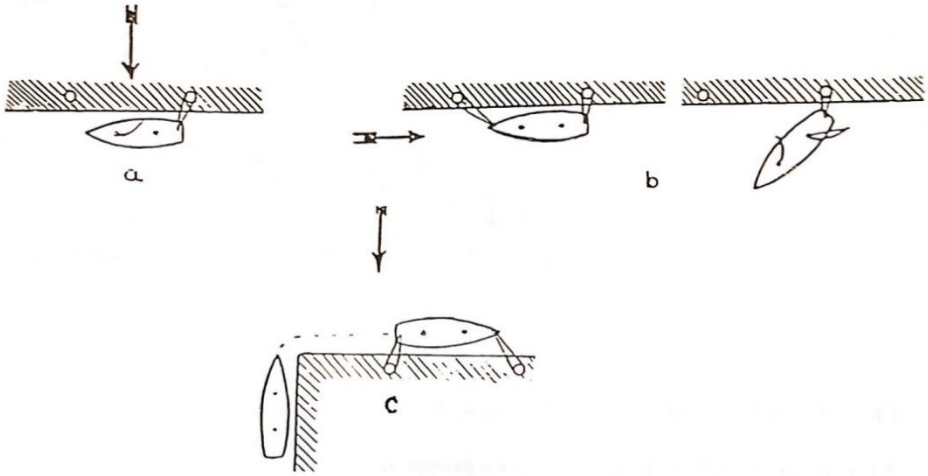
djeluje na površinu jedra pod 90°. Kako se brodica, zbog svog podvodnog oblika, ne može kretati u smjeru djelovanja sile $A$ i ona se rastavlja na dvije komponente Jedna djeluje u smjeru uzdužnice broda ($K$) te pokreće brodicu prema naprijed, dok druga koja je okomita na prvu ($N$) izaziva zanošenje brodice. Sila $K$ većeg je učinka od sile $N$ te brodica napreduje prema naprijed pod djelovanjem vjetra. Samo zanošenje brodice uvelike ovisi o podvodnom obliku trupa brodice jer što je veća površina uronjenog dijela, to će otpor trupa biti veći, a time i zanošenje broda veće.

Prilikom uplovljavanja brodicom na jedra potreban je podosta velik prostor za izvođenje samog manevra te se, ako prostora nema dovoljno, preporučuje spustiti jedra i uploviti na vesla ili pogonski stroj. U slučaju pristajanja na jedra, moguće su tri situacije bitne za manevar. Kada vjetar puše uz obalu (slika 35.) jedri se što više uz vjetar duž obale sve do mjesta pristajanja. Kod mjesta pristajanja pramac se dovodi u vjetar i priteže se glavno jedro. Sam manevar izvodi se kretanjem kojega brodica ostvaruje na temelju zaleta. Kada vjetar puše uz obalu manevar uplovljenja izvodi se tako da se obori sidro i popušta sidreni konop. U onom trenutku kada se obori sidro, sva jedra se spuštaju. Kada vjetar puše da obale moraju se na dovoljnoj udaljenosti od obale spustiti sva jedra. Za sam manevar pristajanja koristi se zalet brodice, no u slučaju da on nije dovoljan mogu se koristiti i vesla.



Slika 35. Pristajanje uz obalu kada vjetar puše uz obalu

U slučaju isplovljenja, manevar ovisi o tome iz kojega smjera dolazi vjetar te se sukladno tome može izvesti na više načina. Na slici 36. prikazana su sve četiri moguće situacije.




Slika 36. Isplovljenje brodicom na jedra

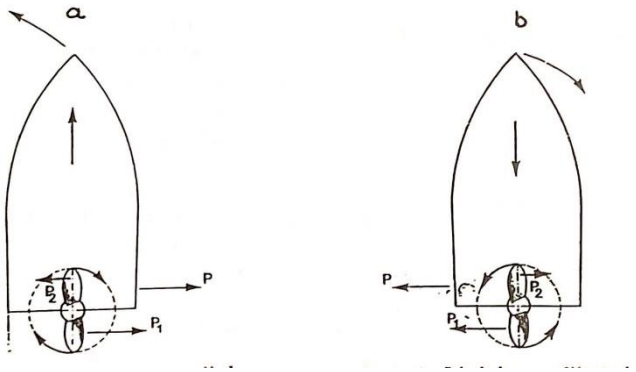
U slučaju kada vjetar puše sa obale, kao što je prikazano na slici 36.a, isplovljenje se vrši tako da se najprije diže prednje jedro i priteže u privjetrini, a zatim se odveže pramac brodice. Nakon što se pramac dovoljno udalji od obale, prednje jedro se prebacuje na suprotnu stranu i odveže se krma. Po odvezivanju krme podiže se glavno jedro. Ako vjetar puše u pramac, kao na slici 36.b, podižu se sva jedra istodobno, a postupak isplovljenja jednak je kao u primjeru a. Po potrebi se brodica može čakljom otisnuti od obale. Kada vjetar puše u krmu broda, pramac se zadržava, dok se krma odveže prva i otiskuje od obale. Vjetar zanosi krmu i okreće brodicu za 180°, odnosno pramcem u vjetar. Nakon toga je postupak isplovljenja isti kao da vjetar puše u pramac. U slučaju kada vjetar puše okomito na obalu, najbolje je otploviti na vesla ili motorni pogon, no ako to nije moguće tada je potrebno privlačenjem uz obalu promijeniti vez brodice tako da joj vjetar puše u pramac kako je i prikazano na slici 36.c.

### 5.3. UPRAVLJANJE BRODICOM SA VANBRODSKIM MOTOROM

Kod upravljanja brodicom sa vanbrodskim motorom najprije je potrebno poznavati djelovanje brodskog vijka. Djelovanje vijka temelji se na reaktivnom djelovanju mase vode na njegova krila. S obzirom kako voda u kojoj vijak rotira nema čvrstoće, ona može poslužiti kao oslonac za stvaranje impulsa kretanja samo reakcijom tromosti svoje mase koja se javlja jedino kada se voda giba. Zbog toga je vodu oko brodskog vijka potrebno ubrzavati kako bi vijak mogao ostvariti silu poriva. Ovo ubrzanje postiže se rotacijom vijka oko osovine, gdje vijak svojim tlačnim stranama zahvača vodu koja pritječe te je odbacuje prema nazad većom

brzinom. Zbog nastanka razlike u tlakovima oko tlačne i podtlačne strane vijka stvaraju se hidrodinamičke sile koje ostvaruju poriv i izboj krme u stranu okretanja vijka.

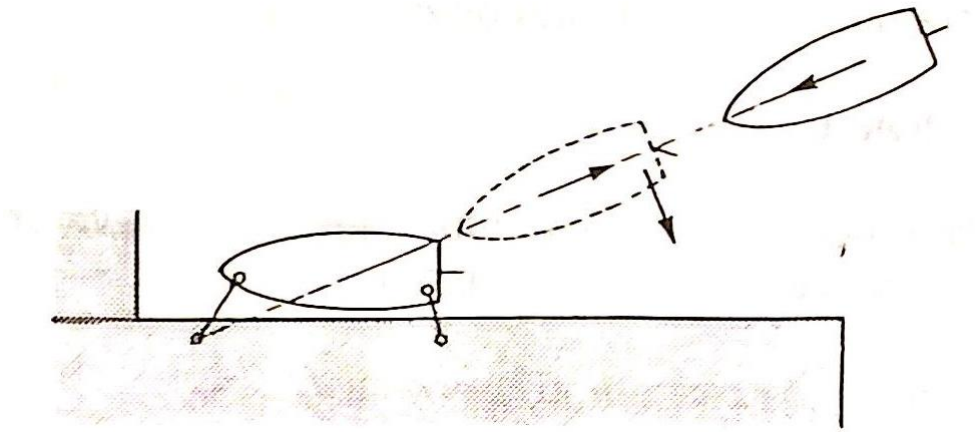
S obzirom na satranu okretanja vijka, vijak može biti desnokretni ili lijevokretni. Desnokretni vijak rotira u desnu stranu, gledano sa krme prema pramcu. On, u vožnji naprijed daje brodici poriv prena naprijed u smjeru pramca, dok poprečna komponenta sile (*P*), prikazana na slici 37.a izbacuje krmu u desno. Prilikom vožnje krmom vijak se okreće u lijevo te daje brodici poriv u smjeru krme, a u ovom se slučaju krma izbacuje u lijevo, dok pramac ima tendenciju kretanja  u desno. Kod lijevokretnog vijka, koji rotira u lijevo gledano sa krme prema pramcu, njegovo djelovanje je obrnuto.




Slika 37. Djelovanje brodskog vijka

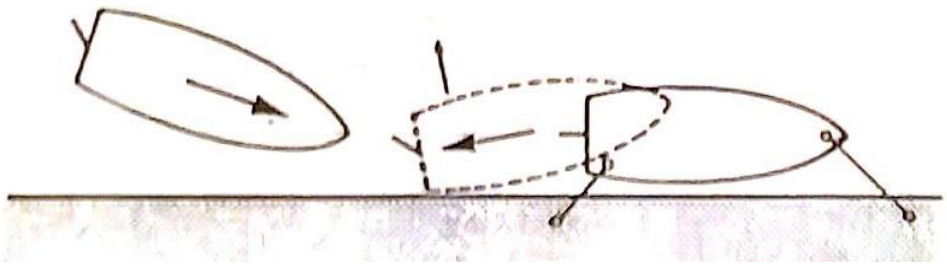
Kod menavriranja brodicom sa vanbrodskim motorom, odnosno brodicom koja ostvaruje silu poriva pomoću brodskog vijka, bitno je razmotriti i međusobno djelovanje vijka i kormila. Kormilo je postavljeno iza brodskog vijka te će u plovidbi voda ubrzano nastrujavati na njega. Kod vožnje naprijed, voda će nastrujavati na gornju lijevu i donju desnu stranu kormila te će krma izbijati na desnu stranu jer kod desnokretnog vijka više vode djeluje na desnu stranu kormila. Dakle, djelovanje mlaza jače se očituje na desnoj strani te će krma izbijati u stranu suprotnu strani izboja vijka. Kada brod prihvati vožnju naprijed, izboj vijka izbacit će krmu u desno, dok se učinak na kormilo pojačava strujom plovidbe te kormilo dobro sluša. Kada se zaustave strojevi, prestaje rotacija vijka, a time i nastrujavanje vode na kormilo te tako kormilo lošije sluša. Ovo je bitno zbog toga što prilikom uplovljenja, pri malim brzinama plovidbe, kormilo ima sve manji utjecaj na brod. U trenutku prijelaza na vožnju krmom vijak vodeni mlaz nastrujava prema pramcu  i ispod kobilice. Ovaj vodeni mlaz udara u desni krmeni dio brodice te zanosi krmu u lijevu stranu, odnosno na stranu izboja vijka.

Uplovljenje brodicom sa vanbrodskim motorom, prikazano na slici 38., najprije ovisi o izboru mjeta pristajanja, bilo da je to bokom ili u četverovez. Ako brodica ima desnokretni vijak, tada je povoljnije pristajanje lijevim bokom jer je, u trenutku prelaska na vožnju krmom, izboj krme u lijevo što olakšava pristajanje. Lijevim bokom se pristaje tako da se obali prilazi pod kutem koji približno iznosi 45° te se postupno smanjuje brzina prilaženja. Kada se brodica već približi obali, kormilo se otkloni na stranu od obale i zavozi se krmom kako bi se zaustavilo kretanje naprijed. Bitno je voditi računa o prilaznoj brzini, tj. da je ona dovoljno mala, jer sa većom brzinom prilaženja potrebno je i jače zavoziti krmom prilikom uplovljenja.



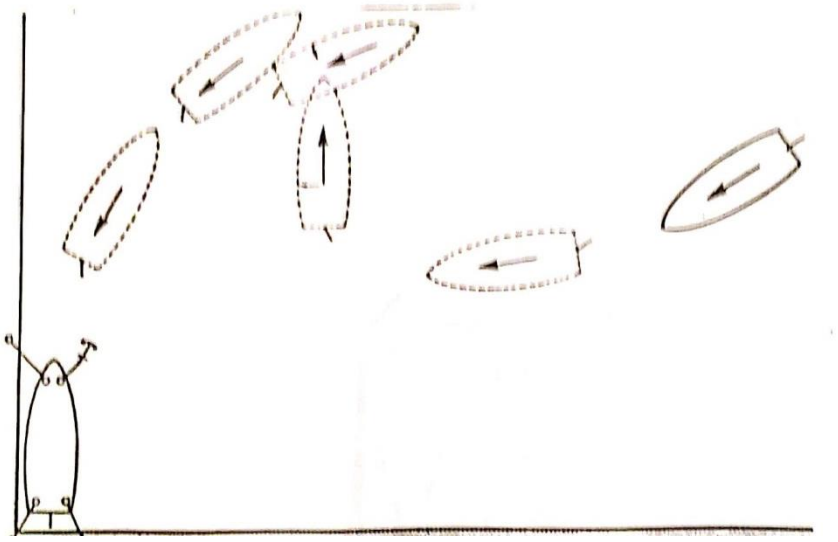
Slika 38. Pristajanje lijevim bokom

Desnim bokom se pristaje ne jednak način kao i lijevim bokom, ukoliko je to povoljna strana s obzirom na okretanje vijka. U laganoj vožnji prema obali, brodica se postavi paralelno sa obalom te se u blizini mjesta pristajanja kormilo otkloni na suprotnu stranu i zaveze krmom, slika 39.



Slika 39. Pristajanje desnim bokom

Uplovljenje u četverovez može se izvesti ili pramcem ili krmom na obalu. Izvodi se tako da se ispred mjesta priveza brodica okrene prema obali onom stranom kojom se pristaje. Nakon okreta obara se sidro te se u laganoj vožnji motorom brodica približava obali, slika 40.



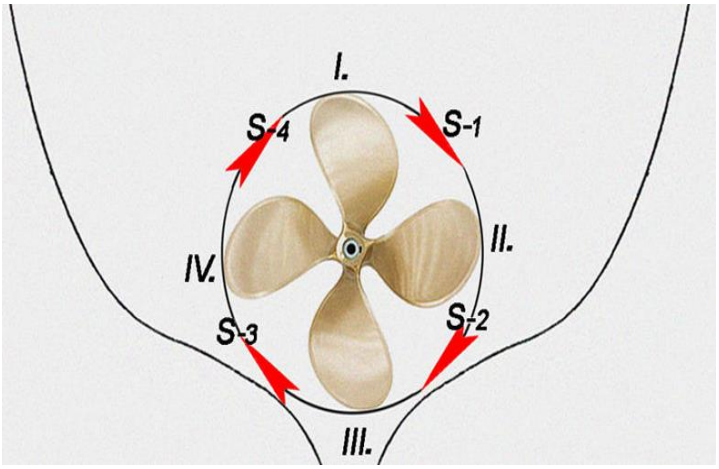
Slika 40. Pristajanje u četverovez krmom

Ukoliko brodica pristaje u vez na kojem je postaljen konop privezan za plutaču, ne obara se sidro, nego se prolaskom plutače prihvaća konop i privezuje na pramac, odnosno krmu, ovisno o strani broda koja će biti vezana uz obalu.

## 5.4. UPRAVLJANJE BRODOM NA MEHANIČKI POGON SA JEDNIM VIJKOM

Brod na mehanički pogon sa jednim vijkom ima dosta slične osobine kao brodica pogonjena vanbrodskim motorom uz razliku veličine samoga broda. Također, vijak kod brodova sa samo jednim vijkom, može biti ili desnokretni ili lijevokretni te je sukladno tome potrebno provoditi manevar uplovljenja odnosno isplovljenja.

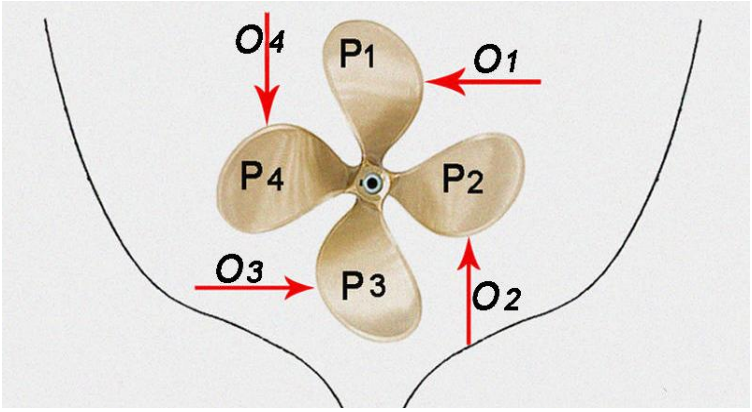
Desnokretni vijak tijekom kretanja broda prema naprijed vodu baca natrag te se stvara sila strujanja vijka. Čestice vode se, zbog utjecaja vijka, vrte u spirali te neke udaraju u desnu donju stranu kormila, a neke u lijevu gornju stranu. Pri tome se javljaju sile: sila strujanja vijka (*S*), sila otpora vode (*O*) i sila strujanja vode po krmi broda (*K*).




Slika 41. Strujanje desnokretnog vijka u vožnji naprijed

Na slici 41. prikazano je strujanje desnokretnog vijka u vožnji naprijed gdje vijak kreće iz položaja I. te baca vodu prema dolje silom strujanja $S_1$ koja nastoji uroniti krmu. Iz položaja II. krilo vijka baca vodu u donji desni dio lista kormila silom $S_2$ koja na brod djeluje tako da nastoji izbiti krmu u lijevo. Krilo vijka iz položaja III. baca vodu prema gore silom $S_3$ te nastoji izroniti krmu, dok krilo koje kreće iz položaja IV. baca vodu na lijevi gornji dio lista kormila silom $S_4$ koja nastoji krmu izbiti u desno.

S obzirom kako sila $S_2$ djeluje na širu površinu kormila te kako se nalazi na većoj dubini, odnosno ima veći hidrostatički tlak, njeno djelovanje na brod će biti jače od djelovanja sile $S_3$ zbog čega će krma broda jače izbijati u lijevu stranu , a pramac će okretati u desno.

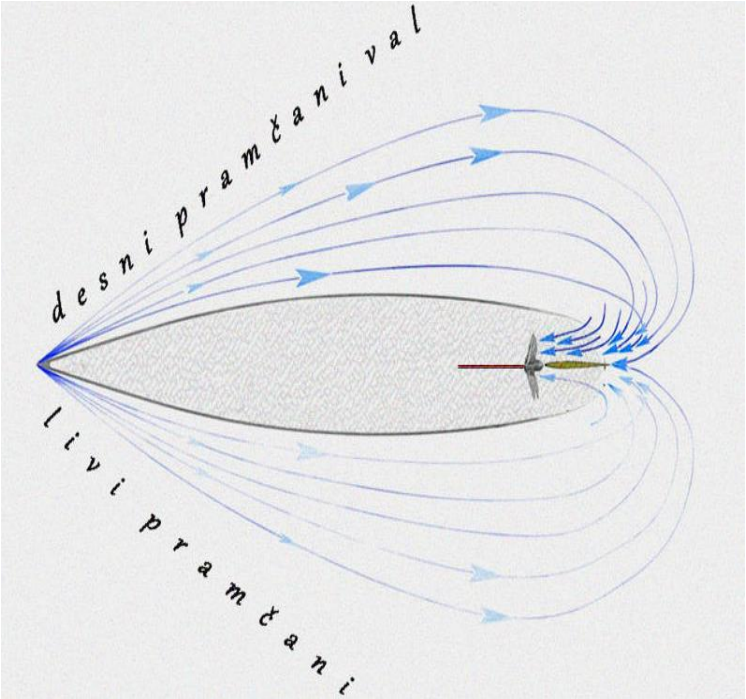



Slika 42. Djelovanje sila otpora kod desnokretnog vijka u vožnji naprijed

Ako se promatra djelovanje sile otpora vode ($O$), slika 42., za izbijanje krme u vožnji naprijed važne su samo sile otpora vode $O_1$ i $O_3$ koje djeluju tako da će sila $O_1$ izbijati krmu u lijevo, a sila $O_3$ u desno. S obzirom kako je djelovanje sile $O_3$ u dubljoj, a time i gušćoj vodi, njeno djelovanje će biti jače. Kada bi se promatralo samo djelovanje sile otpora vode,

zanemarivši djelovanje sile otpora samog vijka (*P*), krma broda sa jednim i to desnokretnim vijkom izbijala bi u desno.

Kretanjem broda prema naprijed, iza krme broda nastaje razrijeđeni prostor u kojega protiče vode te stvara struju, tj. strujanje vode po krmi broda kao što je prikazano na slici 43.

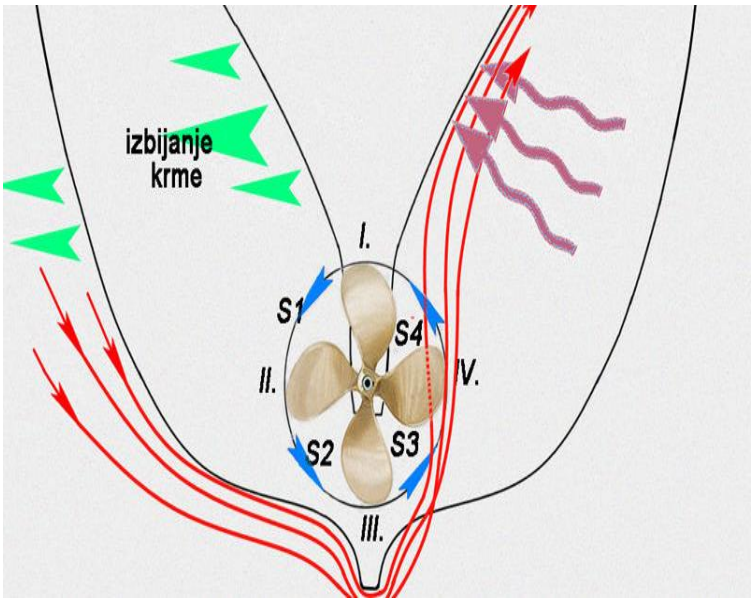



Slika 43. Strujanje vode po krmi broda sa desnokretnim vijkom

Kod desnokretnog vijka, priljev vode na krmi veći je sa desne strane broda zbog ćega će krma nastojati lagano izbijati u lijevu stranu pod djelovanjem navedenog strujanja.

Sila strujanja vika (*S*) i sila struje vode po krmi (*K*) djeluju tako da će krmu broda kod desnokretnog vijka izbijati u lijevo, dok sila otpora vode (*O*) nastoji krmu izbiti u desno. Na samom početku plovidbe sila strujanja vijka bit će minimalna, a struja vode po krmi neće doći do izražaja te će sila otora vode imati najjače djelovanje. Kada brod snažno zaveze naprijed, njegova krma će najprije izbijati u desno, zbog prevagnutog djelovanja sile otpora vode, no kada djelovanje sile strujanja vijka i sila strujanja vode po krmi porastu s brzinom broda, krma će izbijati u lijevo. Kod lijevokretnog vijka ove pojave su obrnute.

U slučaju plovidbe desnokretnim vijkom krmom, slika 44., sila strujanja vijka $S_4$ zbog povoljnog smjera i punog oblika krme svom snagom baca vodu na desni bok broda te uzrokuje snažno izbijanje krme u lijevo.

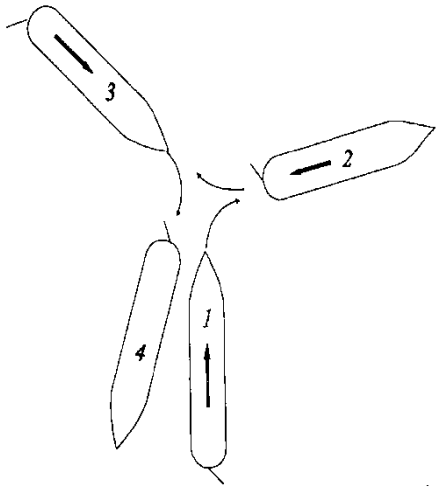



Slika 44. Desnokretni vijak u vožnji krmom

Od četiri sile strujanja koje djeluju na kormilo u vožnji krmom, samo dvije su bitne za izboj krme, a to su $S_2$ koja nastoji krmu izbiti u desno i $S_4$ čije je djelovanje na brod jače i zbog povoljnog smjera rotacije vijka. Kada se brod sa desnokretnim vijkom snažno zaveze krmom i kormilo otkloni sasvim u lijevu stranu, sve tri sile, sila strujanja vijka, sila otpora vode i sila strujanja vode na krmi, djelovat će u lijevo što olakšava okretanje broda sa jednim vijkom u lijevu stranu. Ukoliko se kormilo otkloni sasvim desno te se pokuša izvesti okret broda sa desnokretnim vijkom u desnu stranu, u desno će djelovati jedino sila struje vožnje dok će sila strujanja vode na krmi i sila otpora vode snažno djelovati u lijevo te će krma u početku izbijati u lijevo. Tek kada brod dobije određenu brzinu vožnje krmom nadvladat će sila strujanja vijka te će brod najprije ploviti ravno, a zatim u desno. Zbog navedenog djelovanja sila brod sa desnokretnim vijkom je vrlo teško okrenuti u desnu stranu, čak u ponekim slučajevima i nemoguće.

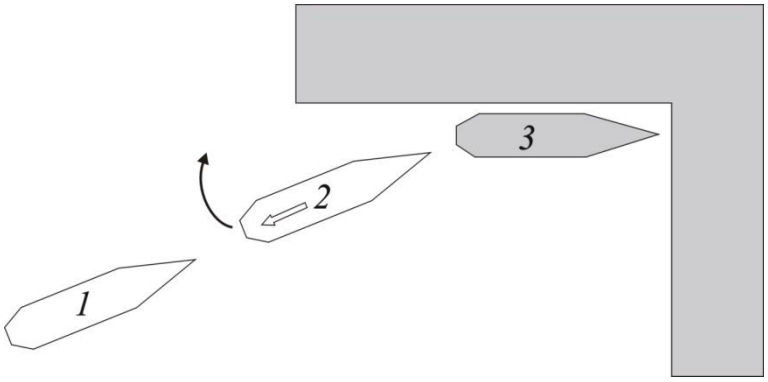
Ukoliko se brod sa jednim vijkom želi okrenuti u mjestu, to je moguće jedino izvođenjem postupka nazvanog košenje. Ovaj postupak provodi se tako da se brod zaveze svom snagom naprijed sa kormilom otklonjenim sasvim u desnu stranu te se strojevi prebace svom snagom krmom, a kormilo otkloni sasvim na lijevu stranu te ponovno svom snagom naprijed sa kormilom sasvim desno i tako dok se brod ne okrene u željenom smjeru kao što prikazuje slika 45. Poseban oprez pri tome mora se posvetiti radu stroja jer stroj ne smije voziti dugo naprijed odnosno krmom kako brod ne bi dobio preveliki zalet već samo zakretni

moment potreban za usmjeravanje broda te kako bi se, uz kontroliranu brzinu, ovaj okret izveo što sigurnije.




Slika 45. Košenje

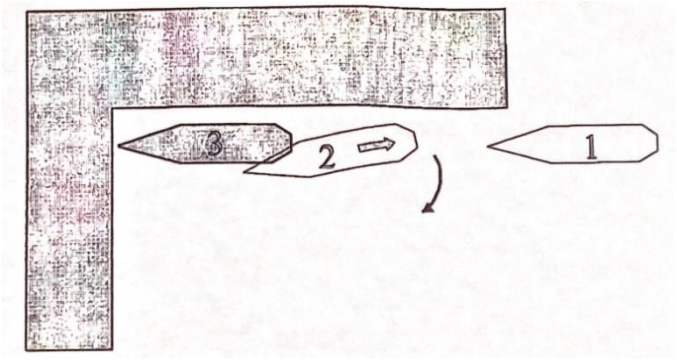
Manevar uplovljenja broda sa samo jednim vijkom uvijek je lakše izvesti na stranu izboja krme broda. Tako će brod sa desnokretnim vijkom uvijek lakše pristati lijevim bokom, kao na slici 46.




Slika 46. Uplovljenje broda s jednim vijkom na stranu izboja

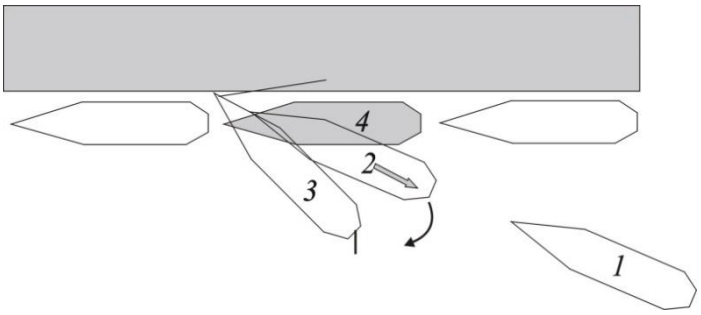
Ukoliko se manevar uplovljenja vrši uz povoljne meteorološke uvjete, brod se približava obali smanjenom brzinom pod nešto većim kutem. Potrebno je stroj zaustaviti na vrijeme, kada je brod dovoljno blizu obale kako bi se odradio privez broda, te snažno zavesti krmom. Premda je brod prilazio obali pod određenim kutem, izboj vijka pri vožnji krmom kod desnokretnog vijka djelovat će u lijevo tako da će, i kada se strojevi zaustave, brod biti paralelan sa obalom. Ako se manevar izvodi na suprotnu stranu od strane izboja potreban je dodatan oprez. Manevar uplovljenja na stranu suprotnu od strane izboja izvodi se najmanjom brzinom tako da se prilazi što paralelnije obali. Prije prebacivanja strojeva u vožnju krmom,

potrebno je kormilo otkloniti od obale što će udaljiti pramac od obale nakon čega se zavozi krmom radi zaustavljanja broda, slika 47.



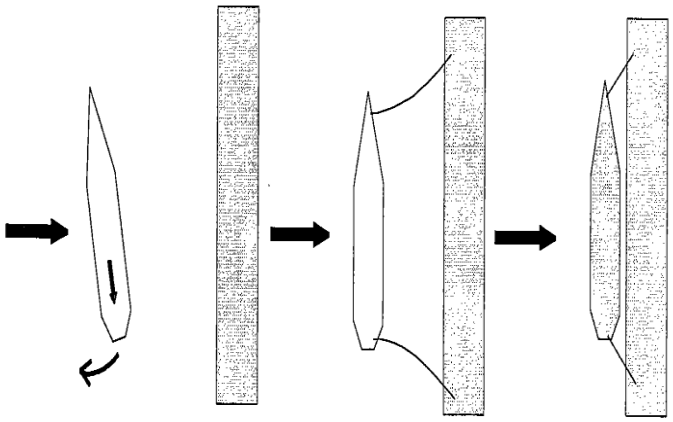

Slika 47. Uplovljenje broda s jednim vijkom na stranu suprotnu izboju

Ovaj manevar može se izvesti i vezanjem pramčanog springa u trenutku zavoženja krmom, slika 48., pomoću kojega se brod približava obali u slučaju da je vožnja krmom previše izbacila krmu od obale. Brod se približava obali vozeći naprijed na springu, s tim da je kormilo otklonjeno od obale. Kada je krma dovoljno blizu obale, vežu se krmeni konopi. Ovaj postupak provodi se i iz sigurnosnih razloga u situaciji kada je uz obalu vezano više brodova čime je manevarski prostor ograničen.



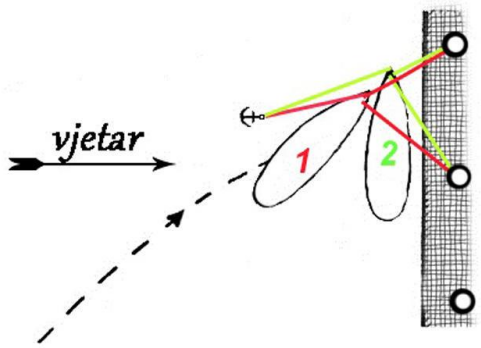

Slika 48. Uplovljenje broda s jednim vijkom na stranu suprotnu izboju pomoću springa

Manevari brodom sa jednim vijkom prilično su jednostavni, no ne smiju biti olako shvaćeni u slučaju loših vremenskih prilika, posebice kada puše vjetar. Kada vjetar puše prema obali, uplovljava se laganom brzinom podalje od obale, slika 49. Potrebno je brodom doći tako da se postavi paralelno sa obalom, obzirom na izboj koji brod ima na krmi, te zaustaviti stroj. Tako zaustavljen brod će se, pod djelovanjem sile vjetra, približiti obali, a pramčani i krmeni konopi moraju što prije biti postavljeni na obalu kako bi se kontroliralo paralelno približavanje obali.



Slika 49. Uplovljenje na stranu izboja kada vjetar puše prema obali

Ovaj manevar moguće je izvesti kada vjetar koji puše prema obali nije previše jak. No, u slučaju jakog vjetra, manevar uplovljenja vrši se pomoću sidra koje kasnije olakšava manevar isplovljenja. Postupak uplovljenja pomoću sidra prikazan je na slici 50.



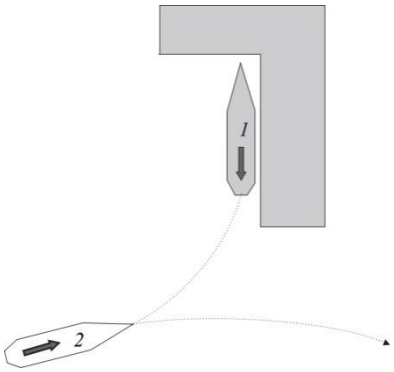

Slika 50. Uplovljenje pomoću sidra

U slučaju jakog vjetra prema obali, obali se prilazi pod okomitijim kutem i na udaljenosti od jedne do dvije uze sidrenog lanca (približno 27.5-55m) obara se vanjsko sidro. Kočnicom sidrenog vitla regulira se okret broda prema obali i njegovo zaustavljanje.

Ako vjetar puše uz obalu, manevar nije mnogo otežan od manevra za lijepog vremena. Potrebno je imati u vidu je li vjetar puše u pramac ili u krmu te o tome voditi računa. Svakako je lakše pristajati vjetrom u pramac i to treba prakticirati tako kada je god to moguće. No, kada nije moguće pristati vjetrom u pramac, kod uplovljenja vjetrom u krmu treba posebno voditi računa o zaletu i zaustavnom putu te u tom slučaju obali obavezno prilaziti s pojačanim oprezom i smanjenom brzinom.

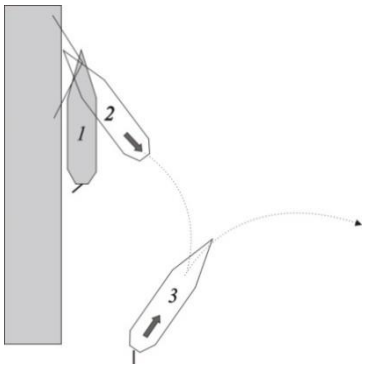
Manevar uplovljenja, u slučaju vjetra koji puše od obale, a na stranu izboja broda, vrši se tako da se brodom približava većom brzinom od uobičajene kako bi se savladala sila djelovanja vjetra koja teži zaustavljanju broda. Kut prilaženja obali treba biti nešto veći, odnosno oštriji kako vjetar ne bi odbacio pramac u neželjenom pravcu. Na udaljenosti od obale koja je dovoljna za njegov siguran privez, snažno se zavozi krmom kako bi izboj na lijevoj strani broda mogao približiti krmu obali. Ukoliko se radi o privezu broda sa strane suprotne izboju broda, tada se manevar uplovljenja izvodi pod većim kutem od uobičajenog, ali smanjenom brzinom, što kraće voziti krmom zbog izboja koji bi negativno utjecao na željeni manevar zbog toga što ima isti smjer kao i vjetar te bi udaljio brod od obale.

Isplovljenje brodom sa jednim vijkom također se razlikuje s obzirom na način priveza broda. Ako je brod bio vezan na strani suprotnoj izboju, odnosno desnom stranom za brod sa desnokretnim vijkom, isplovljenje će se izvršiti tako da se otpuste konopi i zaveze krmom. Krma broda će izbijati u lijevo, što će brod odvojiti od obale. Naravno, potrebno je pozornost posvetiti i pramčanom dijelu broda na koji se, kako bi se spriječilo njegovo struganje o obalu, postavljaju bokobrani. Struganje pramca o obalu moguće je spriječiti i vožnjom naprijed na pramcanom springu uz kormilo otklonjeno od obale. Isplovljenje u ovakvoj situaciji prikazano je na slici 51.




Slika 51. Isplovljenje broda sa strane suprotne izboju

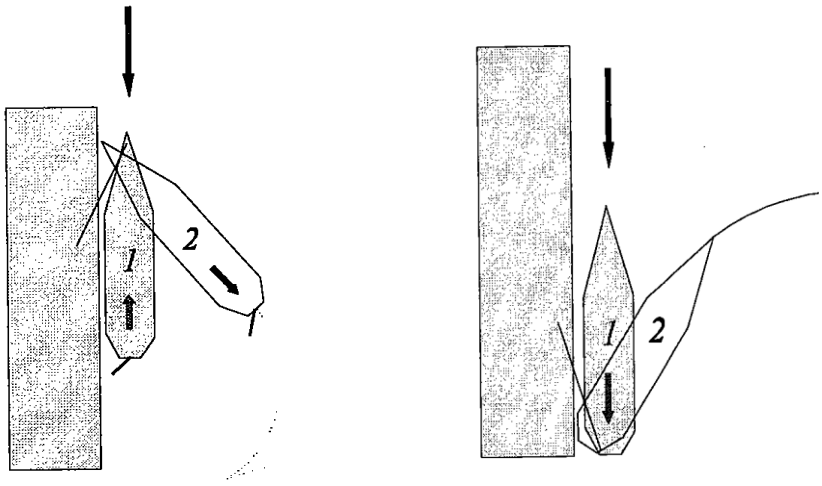
Ukoliko je brod vezan na stranu izboja, manevar isplovljenja se izvodi tako da se prije zavoženja naprijed na prednjem pramčanom konopu zategne pramčani sring kako bi se krma broda udaljila od obale. Pošto se krma dovoljno udaljila od obale, brod zavozi krmom i isplovljava, slika 52.




Slika 52. Isplovljenje broda sa strane izboja

Ovaj manevar može se izvesti i zavoženjem krmom na krmenom springu, ali samo u onim slučajevima u kojima postoji dovoljno prostora kako ne bi došlo do oštećenja brodskog vijka ili kormila, no u nekim slučajevima je potrebno brod na springu okrenuti za 180° zbog ograničenog manevarskog prostora.

Isplovljenje u slučaju vjetra i njegovog djelovanja uz obalu u pramac broda može se izvršiti na dva načina. Ovi načini slični su kao i onima po lijepom vremenu, odnosno jedan je manevar okretanje broda na pramčanom, a drugi na krmenom springu. Važna uloga konopa je, u ovom slučaju, kontrola broda, odnosno kontrola jačine sile djelovanja vjetra na brod. Zadržavanjem i kontroliranim popuštanjem i otpuštanjem konopa smanjuje se sam utjecaj vjetra na brod. Slika 53.a i 53.b prikazuju isplovljenje broda sa jednim desnokretnim vijkom u slučaju vjetra koji puše uz obalu.

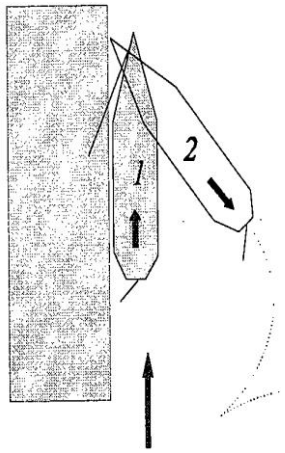



a) Manevar isplovljenja broda sa jednim vijkom u slučaju vjetra - pramcani spring

b) Manevar isplovljenja broda sa jednim vijkom u slučaju vjetra - krmeni spring

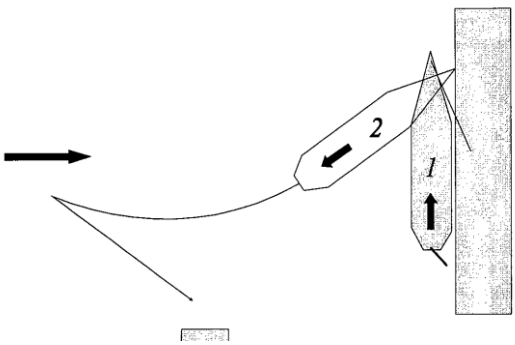
Slika 53. Isplovljenje u slučaju vjetra koji puše uz obalu

Kada vjetar puše uz obalu na način da djeluje na krmeni dio broda, isplovljenje je znatno olakšano, slika 54. Vjetar će povoljno djelovati na brod tako što će krmu gurati od obale te nije potrebna prevelika sila navlačenja na pramčani spring kako bi se to postiglo. Kada se krma dovoljno odvoji od obale, prelazi se na skidanje svih konopa i isplovljenje iz luke.




Slika 54. Isplovljenje broda s jednim vijkom sa vjetrom u krmu

Vjetar prema obali u najvećoj mjeri ometa manevar isplovljenja broda jer je u tom slučaju površina na koju vjetar djeluje najveća, a time i sila djelovanja vjetra. Kada se brod nađe u ovakvoj situaciji, potrebno je krmu broda što je moguće više okrenuti u vjetar kako bi se njegovo djelovanje smanjilo, a time i spriječilo vraćanje broda prema obali. Okret krme u vjetar vrši se preko pramčanog springa, koji mora biti pojačan zbog jake sile potrebne za okret krme broda u vjetar i postavljen više prema krmi broda kako bi hvatište sile navlačenja springa imalo maksimalan utjecaj na brod, slika 55. Po okretu krme u vjetar, zavozi se strojevima krmom i isplovljava iz luke.

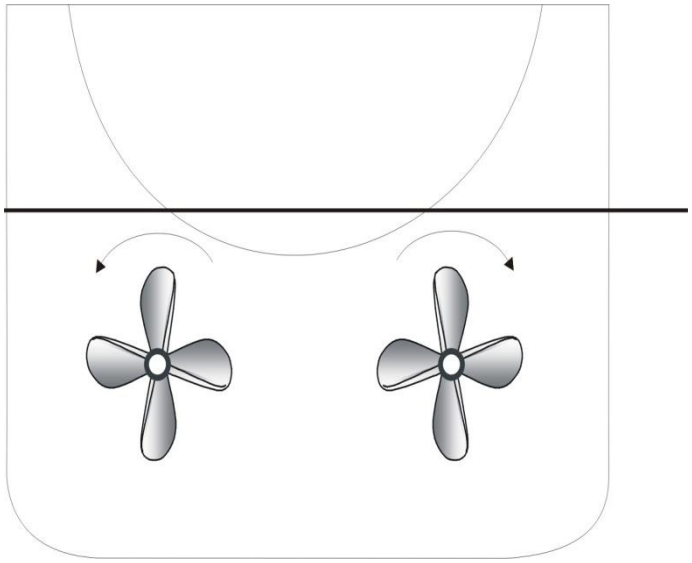



Slika 55. Isplovljenje u slučaju vjetra prema obali

Ukoliko je brod, u slučaju puhanja broda prema obali, bio vezan pomoću sidra na strani broda od obale, manevar se vrši okretom pramca broda u vjetar, odnosno prikupljanjem sidrenog lanca. Po okretu broda pramcem u vjetar, strojevima u hodu naprijed isplovljava se iz luke.

## 5.5. UPRAVLJANJE BRODOM NA MEHANIČKI POGON SA DVA VIJKA

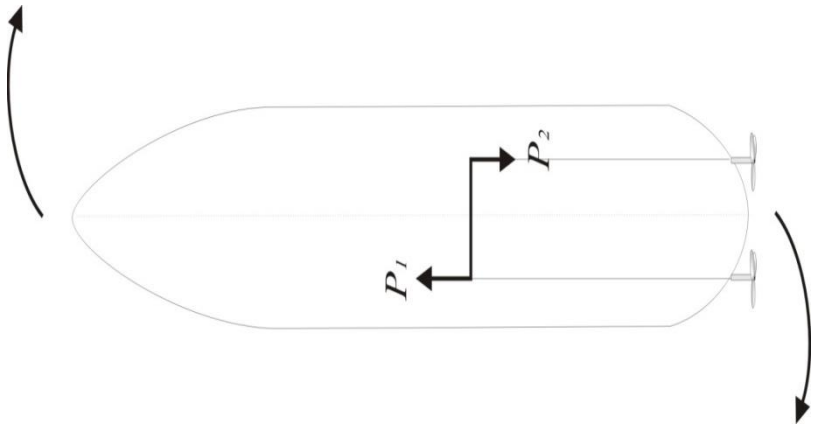
U današnje vrijeme najveći broj brodova ima po dva brodska vijka, koji uvelike pospješuju manevarske sposobnosti broda, povećavaju brzinu broda te olakšavaju manevriranje. Kod brodaova sa dva vijka, vijci su postavljeni simetrično sa obje strane uzdužnice broda kako je prikazano na slici 56.



Slika 56. Brod sa dva vijka

Kako pokazuju strelice na slici 56., u vožnji naprijed kod broda sa dva vijka, gledano od krme, desni vijak rotira u desno tj. u smjeru kazaljke na satu, a lijevi vijak u lijevo odnosno u suprotnom smjeru kazaljke na satu. Kako se oba vijka okreću u suprotnu stranu, njihovim međusobnim djelovanjem dolazi do poništavanja rezultirajućih sila na krmi, odnosno na krmi se više ne stvara sila izboja niti u jednu od strana.

Kada se oba brodska vijka okreću u smjeru naprijed ili za vožnju krmom ne stvara se sila izboja krme, no snažan izboj se može postići njihovim obrnutim okretanjem. Ako jedan od vijaka rotira za vožnju naprijed, a drugi za vožnju krmom, stvara se povoljan spreg sila kojim se može brod okrenuti gotovo u mjestu bez potrebe za otklanjanjem kromila broda. Djelovanje ovog sprega sila prikazano je na slici 57.

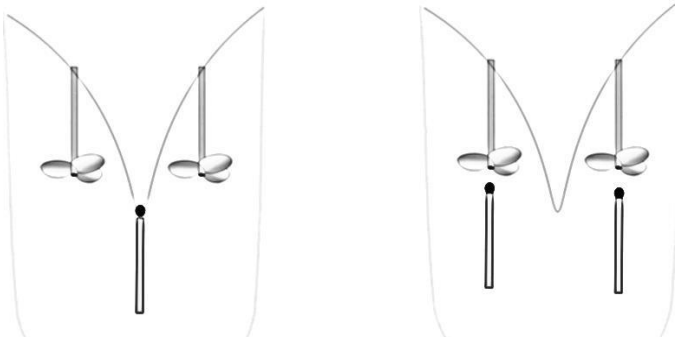



Slika 57. Djelovanje sprega sila na brod sa dva vijka

Brod se okreće gotovo u mjestu iz razloga što su osovine brodskih vijaka smještene desno i lijevo od uzdužnice broda. S obzirom kako pravac sile poriva svakog od propelera prolazi težištem broda, za svaki od vijaka moment okretanja broda jednak je umnošku sile poriva *P* i kraka zamišljenog kao okomica od linije sile poriva do težišta broda te oba momenta okretanja u ovoj situaciji djeluju u istom smjeru.

Kako ispod broda, djelovanjem vijka, dolazi do strujanja vode, tako se kod sprega javlja cirkularno strujanje vode. Ovo cirkuarno strujanje daje rezultirajuću bočnu silu koja stvara snažni izboj krme što čini ovo svojstvo brodova sa dva vijka izuzetno povoljnin i korisnim osobito pri manevriranju u ograničenom prostoru.

Postavljanje kormila na brodovima sa dva vijka može biti izvedeno na dva načina, kako prikazuje slika 58.



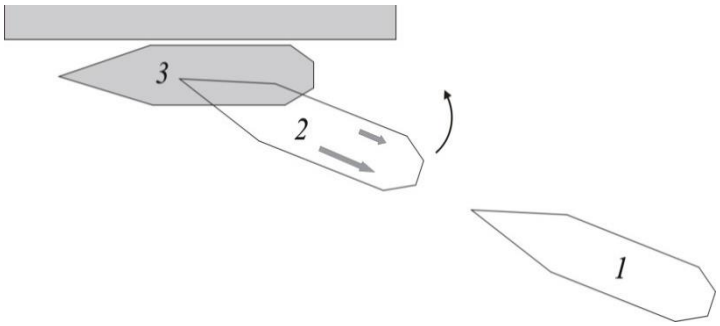
Slika 58. Postavljanje kormila na brodovima sa dva vijka

Kada je kromilo postavljeno u uzdužnici broda i iza brodskih vijaka, na njega ne djeluje nikakva sila nastala djelovanjem brodskih vijaka. Učinak kormila ostvaruje se djelovanjem struje vožnje prilikom kretanja broda, koji će biti veći ukoliko je i brzina broda

veća. No, ukoliko se kromilo ovako postavljenjo otkloni više od 15° u jednu ili drugu stranu, na njega će početi djelovati i struja vijka i to samo onoga na čiju je stranu kormilo otklonjeno.

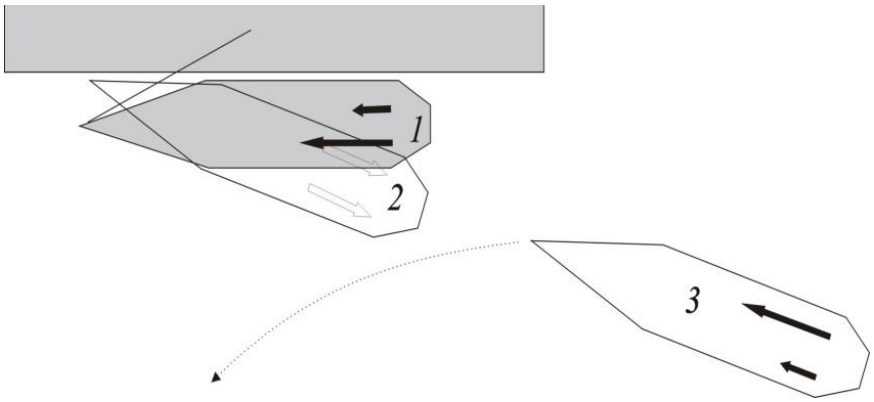
U slučaju postavljanja dvaju kormila iza i u uzdužnici brodskih vijaka, djelovanje kormila pojačano je djelovanjem struje vijka koja direktno utječe na njihov učinak. Struja vijka baca vodu izravno na plohu kormila prilikom vožnje naprijed te učinak kormila izravno ovisi o djelovanju struje propelera. No, u slučaju vožnje krmom, vijci bacaju vodu ispred sebe te ona ne dolazi na plohu kormila zbog čega kormilo u vožnji krmom ima malen utjecaj na brod. Prilikom vožnje sprega, jedan motor u vožnji naprijed, a drugi krmom, veće djelovanje ostvarit će ono kormilo i brodski vijak koji su u režimu vožnje naprijed. Zbog toga krug okreta broda neće biti gotovo u mjestu, odnosno točki okreta, nego će on iznositi približno jednu duljinu broda.

Uplovljenje brodom sa dva vijka u luku jednostavnije je zbog toga što nema negativnog izboja na krmi broda. Također, željeni izboj krme prema obali može se postići vožnjom kromom strojem koji se nalazi dalje od obale, odnosno vanjskim strojem u odnosu na brod i obalu. Uplovljenje brodom sa dva vijka prikazano je na slici 59. Uplovljenje se izvodi tako da se obali prilazi pod određenim kutem te se u povoljnom trenutku zavozi krmom vanjskim strojem kako bi se krma približila obali te brod postavio paralelno da obalom.




Slika 59. Uplovljenje brodom sa dva vijka

Isplovljenje se pak vrši na način da se laganom vožnjom naprijed na pramčanom springu krma udalji od obale, kako je prikazano na slici 60. Ovo djelovane se može pojačati ako se naprijed vozi samo vanjskim strojem te brod u tom trenutku poprima osobine broda sa jednim vijkom sa izbojem od obale. Kada je krma dovoljno udaljena od obale, zavozi se strojevima krmom, odvoji od obale nakon čega je moguće sigurno isploviti iz luke.




Slika 60. Isplovljenje brodom sa dva vijka

Pri vjetrovitom vremenu, uplovljenje i isplovljenje brodom sa dva vijka sličan je kao i u situaciji kada nema vjetra, osim što kada se zavozi strojevima naprijed i krmom prilikom izvođenja tih manevara, vožnja mora biti jača kako bi se savladala sila djelovanja vjetra. Manevre je potrebno, kada je to moguće, izvoditi pramcem u vjetar, no kada je vjetar u krmu potrebno je manevrirati manjom brzinom kako bi zaustavljanje broda bilo sigurnije. Ako vjetar puše od obale, obali se prilazi pod većim kutem i većom brzinom, a kada vjetar puše prema obali pod što manjim kutem i što je moguće paralelnije sa obalom. U sličaju jakog vjetra kao i zbog sigurnosti broda, prilikom uplovljenja, a tako i isplovljenja, može se koristiti i sidro.

## 5.6.UPRAVLJANJE BRODOM NA MEHANIČKI POGON SA VIŠE VIJAKA

Brodovi sa više vijaka imaju prednost pred ostalima jer s obzirom na broj vijaka mogu ostvarivati i veće brzine. Postoje brodovi sa tri vijka čija su manevarska svojstva slična i brodovima sa jednim i brodovima sa dva vijka. Tako je moguće, zavisno od situacije u kojoj se brod nalazi, posebno korisiti svojstva broda sa jednim odnosno broda sa dva vijka već kako je to potrebno odvojenim djelovanjem triju brodskih vijaka. Također je potrebno voditi računa o djelovanju sila na brod prilikom rotiranja sva tri vijka pri čemu će se uvijek jača sila stvoriti na onoj strani na kojoj su dva istokretna vijka jer uobičajeno je da se na brodovima sa tri vijka dva vijka vrte u istu, a jedan u suprotnu stranu. Brodovi sa četiri vijka manevarski su istih svojstava kao i brodovi sa dva vijka, samo što su ta svojstva pojačana, odnosno sile djelovana su jače nego kod brodova sa dva vijka. Brodovi sa četiri vijka mogu postiči jako velike brzine, a vrste njihovog pogona su obično kombinirani između dvaju pogonskih goriva, pa tako su najčešći brodovi sa četiri vijka *CODOG* (*Combined Diesel or Gas*), *CODLAG* (*Combined Diesel/Electric and Gas Turbine*) brodovi.

# 6. POSEBNE NAPOMENE ZA UPRAVLJANJE BRODOM PRILIKOM UPLOVLJAVANJA I ISPLOVLJAVANJA IZ LUKE

Prilikom uplovljavanja i isplovljavanja iz luke zapovjednik broda ili časnik palubne službe na dužnosti moraju imati u vidu nekoliko ključnih činjenica. Plovidba i manevriranje brodom nije urođeni dar odnosno talent pojedinca, već iskustvo stečeno temeljem prakse izgrađene na dobrom teorijskom znanju. Niti jedna situacija, u kojoj je potrebno izvesti manevar brodom, ne smije se olako shvatiti jer i u najmanem trenutku nepažnje može doći do katastrofalnih posljedica.

Kako bi se svaki manevar uspješno izveo ključno je poznavati manevarske osobine broda, utjecaj vanjskih sila na brod i ograničenja sukladno konstrukcijskoj izvedbi broda. Najbitinije je procijeniti situaciju u kojoj se brod i njegova posada u danom trenutku nalaze te napraviti plan manevra, radilo se o uplovljenju ili isplovljenju, uz kojega je uvijek potrebno razraditi i pričuvni manevar tj. manevar izvlačenja ukoliko iz bilo kojeg razloga izvedba manevra pođe po krivu ili dođe do promjene vanjskih prilika koje utječu na brod. Pričuvnivni manevar u svakom pogledu jamči sigurnost broda i niti jedan kvalitetan pomorski časnik ne smije si dopustiti situaciju u kojoj ne zna što slijedeće napraviti.

Također, prilikom izrade plana manevra, potrebno je detaljno proučiti karte područja u koje se ulazi, osobito područje luke u koju brod planira uploviti. Potrebno je detaljno proučiti, kako pravne odredbe, tako i fizička ograničenja luke s obzirom na dubinu, duljinu obale te ako je unaprijed određeno i mjesto priveza broda uz uvažavanje pravila redoslijeda uplovljenja u određene luke. Bitno je također proučiti ulazi li se u pojedinu luku kroz kanal ili kakvo plitko područje te paziti na ograničenja brzine plovidbe kao i navigacijska svjetla u plovidbi noću.  Ukoliko se radi o isplovljenju, potrebno je pomno proučiti situaciju u luci, koliko se brodova nalazi u luci koji u danom trenutku izvode kakav manevar, koliko je prostora slobodno za izvođenje manevra isplovljenja te prije svega hidrometeorološke prilike kako ne bi došlo do izbora krivog manevra kao i njegovog izvođenja u nepovoljnom trenutku.

Dobrim poznavanjem ranije navedenih činjenica te pomnim planiranjem, dobrom pripremom i smirenim odlučivanjem pomorski časnik osigurava pravilno izvođenje svakog manevra čime ujedno, u svakom trenutku, jamči sigurnost broda, njegove posade te putnika i tereta.

# ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirane su upute za upravljanje brodom prilikom uplovljavanja i isplovljavanja iz luke kroz nekoliko poglavlja. Iznesene su temeljne činjenice i osnove poznavanja manevarskih osobina broda kao i vanjskih sila koje utječu na brod čijim se dobrim poznavanjem i stjecanjem kvalitetnog iskustva osigurava temeljna sigurnost broda, kako u luci, tako i u plovidbi. Poznavanjem sila koje utječu na brod, od njegovih vlastitih koje nastaju djelovanjem pogonskih strojeva, brodskog vijka i kormila, do vanjskih, poput utjecaja vjetra i struje, može se smanjiti njihovo nepovoljno djelovanje točno odabranim postupkom u određenoj situaciji i naravno, iskorisiti njihovo povoljno djelovanje kada je to moguće.

Potrebno je prije svega naglasiti kako je u manevru uplovljenja ili isplovljenja prije svega važna dobra priprema zapovjednika broda i cjelokupne posade koja mora biti dobro uvježbana za izvođenje svih potrebnih radnji prilikom navedenih manevara. Potrebno je dobro poznavati manevarska svojstva broda, njegove glavne konstrukcijske karakteristike te svojstva njegove upravljivosti na temelju čega se brodom upravlja i provode određena pomorska putovanja. Također, ovisno o samoj namjeni broda, određuje se brzina plovidbe uvjetovana ekonomičnošći koja je danas na prvom mjestu, osobito prilikom prijevoza prekooceanskog tereta. Od same izvedbe broda i njegovog pogonskog stroja najveća razlika očituje se u tome koliko pogonskih strojeva, brodskih vijaka i kormila brod ima, što uvjetuje njegova osnovna pomorska i manevarska svojstva.

Dobrim teorijskim poznavanem sila koje djeluju na brod i postupaka izvedbe manevara te kvalitetnom praktičnom obukom proizvode se kvalitetni pomorski časnici na kojima leži odgovornost naučena znanja primjeniti.

Sam proces obuke, a tako isto i njena izvedba i kasnija primjena u životnim situacijama nisu lagani. Kvalitetan časnik i nautičar svakim novim danom mora biti spreman na cjeloživotno učenje i primjenu novih znanja u poslu što taj posao ne čini ni najmanje laganim, čak štoviše, čini ga pozivom.

# LITERATURA


[1] Radan, D.: *Uvod u hidrodinamiku broda*, Sveučilište u Dubrovniku, Dubrovnik, 2004.

[2] Ljubetić, M.: *Otpor i propulzija broda*, Skripte sa predavanja, Pomorski fakultet Dubrovnik, Sveučilište u Splitu, Dubrovnik, 1989.

[3] Radulić, R.: *Manevriranje brodom*, Profil international d.o.o., Zagreb, 2001.

[4] Kalinovčić, H.: *Upravljivost broda*, Skripta uz predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2004.

[5] Buljan, I.: *Manevriranje brodom*, Mornarički oglasnik, Split, 1958.

[6] Vučinić, A.: *Otpor i propulzija broda*, Mornaričko-tehnička akademija, Split, 1972.

[7] Pulja, G.: *Brodska hidrodinamika II*, Mornarički školski centar, Split, 1980.

[8] Karaman, A: *Brodogradnja i borbena otpornost broda*, Skripta, Hrvatska ratna mornarica, Split, 2007.

[9] *Pomorska encijklopedija*, Leksikografski zavod, Zagreb, 1989.

[10] *Tehnička enciklopedija*, Leksikografski zavod, Zagreb, 1997.

[11] Čepelak, K.; Šimleša, D.; Košak, R.; Granić, A.; Pestić, G.: *Temelji pomorstva*, Hrvatska ratna mornarica, Split, 2005.

## IZVORI

[1] www.pfst.hr/nastavni materijali

[2] www. wikipedia.hr

[3] www.enciklopedija.hr

# POPIS ILUSTRACIJA

Slika 1. Duljine broda ..... 4
Slika 2. Širina broda ..... 4
Slika 3. Stvaranje sile uzgona ..... 6
Slika 4. Savladavanje sile otpora silom poriva ..... 8
Slika 5. Sile koje djeluju na brod ..... 10
Slika 6. Koordinatni sustav broda sa prikazanim gibanjima broda u šest stupnjeva slobode .. 11
Slika 7. Vodomlazni propulzor ..... 14
Slika 8. Dijelovi brodskog vijka: 1 – glavčina, 2 – strujna kapa, 3 – osovina, 4 – list vijka. .. 16
Slika 9. Lijevokretni i desnokretni brodski vijak ..... 16
Slika 10. a) vijak s prekretnim krilcima, b) Voith-Schneiderov propeler, c) vijak u sapnici,.. 18
Slika 11. Tipovi kormila: a) obično, b) balansno, c) polubalansno ..... 20
Slika 12. Djelovanje sila na kormilo ..... 20
Slika 13. Djelovanje vode na plohu otklonjenog kormila ..... 21
Slika 14. Prikaz djelovanja otklona kormila na brod ..... 22
Slika 15. Utjecaj vjetra na zaustavljeni brod ..... 25
Slika 16. Oblik kruga okreta broda pod utjecajem vjetra ..... 26
Slika 17. Točka okreta broda koji miruje ..... 28
Slika 18. Točka okreta broda u vožnji: a) naprijed, b) krmom ..... 28
Slika 19. Moment okreta broda u vožnji naprijed ..... 29
Slika 20. Djelvanje momenta okreta u vožnji krmom ..... 29
Slika 21. Krug okreta broda ..... 30
Slika 22. Vezni konopi: 1) prednji pramčani konop, 2) pramčani bočni konop,.....31
3) pramčani spring, 4) krmeni spring,.....31
5) krmeni bočni konop, 6) stražnji krmeni konop..... 31
Slika 23. Djelovnje veznih konopa: prednji pramčani konop ..... 32
Slika 24. Djelovanje veznog konopa iz težišta broda ..... 32
Slika 25. Djelovanje veznih konopa: pramčani spring ..... 33
Slika 26. Djelovanje prednjeg pramčanog i stražnjeg krmenog konopa istovremeno ..... 33
Slika 27. Manevar okretanja ..... 34
Slika 28. Prikaz rezultata Z-manevra (Z-20°/10°) ..... 35
Slika 29. Prikaz rezultata pokusa izvlačenja za stanilan i nestabilan brod ..... 36

Slika 30. Rezultati spiralnog pokusa ..... 36
Slika 31. Pokus zaustavljanja ..... 37
Slika 32. Djelovanje vesla na brodicu ..... 39
Slika 33. Načini priveza brodice uz obalu ..... 39
Slika 34. Djelovanje jedra na brodicu ..... 40
Slika 35. Pristajanje uz obalu kada vjetar puše uz obalu ..... 41
Slika 36. Isplovljenje brodicom na jedra ..... 42
Slika 37. Djelovanje brodskog vijka ..... 43
Slika 38. Pristajanje lijevim bokom ..... 44
Slika 39. Pristajanje desnim bokom ..... 44
Slika 40. Pristajanje u četverovez krmom ..... 45
Slika 41. Strujanje desnokretnog vijka u vožnji naprijed ..... 46
Slika 42. Djelovanje sila otpora kod desnokretnog vijka u vožnji naprijed ..... 46
Slika 43. Strujanje vode po krmi broda sa desnokretnim vijkom ..... 47
Slika 44. Desnokretni vijak u vožnji krmom ..... 48
Slika 45. Košenje ..... 49
Slika 46. Uplovljenje broda s jednim vijkom na stranu izboja ..... 49
Slika 47. Uplovljenje broda s jednim vijkom na stranu suprotnu izboju ..... 50
Slika 48. Uplovljenje broda s jednim vijkom na stranu suprotnu izboju pomoću springa ..... 50
Slika 49. Uplovljenje na stranu izboja kada vjetar puše prema obali ..... 51
Slika 50. Uplovljenje pomoću sidra ..... 51
Slika 51. Isplovljenje broda sa strane suprotne izboju ..... 52
Slika 52. Isplovljenje broda sa strane izboja ..... 53
Slika 53. Isplovljenje u slučaju vjetra koji puše uz obalu ..... 53
Slika 54. Isplovljenje broda s jednim vijkom sa vjetrom u krmu ..... 54
Slika 55. Isplovljenje u slučaju vjetra prema obali ..... 54
Slika 56. Brod sa dva vijka ..... 55
Slika 57. Djelovanje sprega sila na brod sa dva vijka ..... 56
Slika 58. Postavljanje kormila na brodovima sa dva vijka ..... 56
Slika 59. Uplovljenje brodom sa dva vijka ..... 57
Slika 60. Isplovljenje brodom sa dva vijka ..... 58