

Kormilo i djelovanje kormila

Španjol-Pandelo, Niko

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:547401>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-02**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

NIKO ŠPANJOL-PANDELO

**KORMILA I DJELOVANJE KORMILA - UTJECAJ NA
MANEVARSKA SVOJSTVA BRODA**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**KORMILA I DJELOVANJE KORMILA - UTJECAJ NA
MANEVARSKA SVOJSTVA BRODA**

**RUDDER AND RUDDER FUNCTION - INFLUENCE ON THE
MANEUVERING PROPERTIES OF THE SHIP**

**ZAVRŠNI RAD
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Tehnika rukovanja brodom

Mentor: prof. dr. sc. Robert Mohović

Student: Niko Španjol-Pandelo

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112082874

Rijeka, rujan 2024.

Student: Niko Španjol-Pandelo

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112082874

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom
„Kormila i djelovanje kormila - utjecaj na manevarska svojstva broda“

izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Roberta Mohovića

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezo/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



Niko Španjol-Pandelo

Student: Niko Španjol-Pandelo

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112082874

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student



Niko Španjol-Pandelo

SAŽETAK

Kormilo je osnovni alat za kontrolu smjera broda, omogućujući promjenu kursa i vraćanje na željeni kurs ako do promjene dođe radi utjecaja vanjskih čimbenika. Učinkovitost kormila ovisi o brzini broda, veličini i dizajnu kormila, te specifičnim karakteristikama broda. Veće kormilo pruža veću silu i bolje manevriranje u ograničenim prostorima, dok oblik i kut otklona kormila utječu na stvaranje razlike tlakova i ukupnu silu kormila.

Brza i precizna reakcija kormilom ključna je u hitnim situacijama i ograničenim akvatorijima kako bi se izbjegao sudar. Efikasno upravljanje brodom također zahtijeva razumijevanje interakcije kormila s drugim komponentama broda. Ispravan dizajn kormila i vještine posade osiguravaju sigurnost i uspješno manevriranje brodom.

Ključne riječi: kormilo, kormilarski uređaj, manevarska svojstva.

SUMMARY

The rudder is the basic tool for controlling the direction of the ship, allowing to change the course and return to the desired course if the change occurs due to the influence of external factors. The effectiveness of the rudder depends on the speed of the ship, the size and design of the rudder, and the specific characteristics of the ship. A larger rudder provides greater force and better maneuverability in confined spaces, while the shape and deflection angle of the rudder affect the creation of a pressure difference and the overall force of the rudder.

A quick and precise rudder reaction is essential in emergency situations and limited waters to avoid collisions. Effective ship management also requires an understanding of how the rudder interacts with other ship components. The correct design of the rudder and the skills of the crew ensure the safety and successful maneuvering of the ship.

Keywords: rudder, steering device, maneuverability.

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	II
1. UVOD	1
2. KORMILARENJE I KORMILO	3
2.1. PODJELA KORMILA	4
2.2. DIJELOVI KORMILA.....	7
3. KORMILARSKI STROJ	8
4. DJELOVANJE KORMILA NA OKRETANJE BRODA	11
4.1. SILA KORMILA.....	12
4.2. ZAKRETANJE BRODA DJELOVANJEM KORMILA.....	15
4.3. GIBANJE BRODA PRI ZAKRETANJU	17
4.4. MEĐUDJELOVANJE VIJKA I KORMILA	21
5. UPRAVLJIVOST BRODA	24
5.1. POKUSI ZA OCJENU UPRAVLJIVOSTI BRODA	25
5.1.1. MANEVAR KRUŽNOG OKRETA	26
5.1.2. MANEVAR ZAUSTAVLJANJA	26
5.1.3. Z-MANEVAR (ZIG-ZAG MANEVAR, Z-TEST) – sposobnost upravljivosti.....	27
5.1.4. MANEVAR IZVLAČENJA („PULL OUT“) – stabilnost zadržavanja kursa.....	28
5.1.5. SPIRALNI MANEVAR – sposobnost zadržavanja kursa i upravljivost	29
5.2. PRIKAZ INFORMACIJA O UPRAVLJIVOSTI NA BRODU	30
6. ZAKLJUČAK	32
LITERATURA	34
POPIS SLIKA	35
POPIS TABLICA	36

1. UVOD

Kormilarenje u povijesti nije bilo nalik onome danas. Brodovi do 13. st. nisu imali kormila slična današnjim. Kormilarilo se veslima postavljenim na krmeni dio broda najčešće paralelno sa smjerom uzdužnice broda. Na taj način se moglo upravljati brodovima koji su bili pogonjeni veslima i ljudskom snagom, dok se kod brodova s jedrima upravljalo isključivo dok su jedrili s vjetrom u krmu. Zbog premale površine vesla za kormilarenje i nemogućnosti postizanja veće brzine broda, plovidba na jedra s bočnim vjetrom bila je nemoguća jer je moment sile vjetra bio puno veći od momenta sile kormila pa je održavanje željenog kursa bilo nemoguće. Poznavanjem problematike tadašnje plovidbe, brodari iz Navarre¹ sredinom 13. st. uvode kormila sličnih karakteristika današnjim kormilima koja su u početku nazivala navarskim kormilima. Uvođenjem tih kormila omogućeno je daljnje razvijanje jedrenjaka s većom površinom jedara. Budući da su navarska kormila imala veću površinu, povećala se i sila kormila, a istovremeno i moment sile kormila, što je omogućilo iskorištavanje povoljnog bočnog vjetra za plovidbu. Kormila ista današnjim prvi se puta pojavljuju na galijama pa su takve galije iz Genove izvršile prva putovanja iz Mediterana prema svjetskim oceanima. Paralelno razvojem kormila i njegovog oblika, istraživalo se i o najpogodnijem načinu za okretanje kormila. Na manjim se brodovima nad palubom postavilo rudo usađeno na gornjem dijelu osovine dok je kod većih brodova to rudo bilo ispod palube. Kormilo se okretalo preko ruda uporabom ljudske snage, što je kod većih brodova bio mukotrpan rad koji je iziskivao uključivanje više ljudi. Tek početkom 18. st. uvedeni su koloturnici i bubnjevi koji su nadaleko olakšali taj posao te omogućili veći otklon kormila. Daljnjim razvojem tehnologije i brodogradnje došlo je do optimalne konfiguracije sustava kormilarenja. Sustav kormilarenja jedan je od najbitnijih brodskih sustava, a njegova glavna uloga je omogućiti brodu učinkovito upravljanje. Kormilarski stroj je sastavljen od brojnih komponenti koje su vrlo osjetljive. Stoga bi prilikom plovidbe trebalo voditi brigu o tome da ne dođe do oštećenja kormilarskog stroja. Veličina i snaga kormilarskog stroja ovise o zahtjevima i veličini broda. Na brodovima specijalne namjene kojima režim rada zahtijeva bolje manevarske sposobnosti, grade se kormilarski strojevi koji omogućavaju veći otklon kormila i kraće vrijeme zakretanja. Razvojem suvremenog pomorstva, razvijala su se kormila koja su usko povezana s manevarskim svojstvima broda. Tako će različiti brodovi ovisno o svojoj namjeni imati različite izvedbe kormila. Postoje razne vrste kormila koja je

¹ Navarra, Španjolska autonomna zajednica, smještena na sjeveru Španjolske

teoretski moguće izraditi, ali praksa je pokazala da ipak nisu učinkovita za korištenje. Danas se najviše koriste klasična strujna kormila. Naime, postoje i druge vrste upravljačkih sustava koja služe brodu za manevriranje, ali će u ovom radu biti govora o klasičnim pasivnim kormilima.

Kormila i djelovanje kormila odnosno njihov utjecaj na manevarska svojstva broda tema je ovog završnog rada koji je sastavljen od 6 poglavlja. Stoga se u prvom poglavlju ili uvodu najavljuje navedena tema ovog rada. U drugom poglavlju bit će govora o osnovnim oblicima i dijelovima kormila jer je poznavanje navedenog o iznimne važnosti za kormilarenje brodom. U trećem poglavlju govori se o stroju koji zakreće kormilo, tj. o kormilarskom stroju. Navedena su dva najzastupljenija oblika kormilarskog stroja, kao i njegovi dijelovi i zahtijevane karakteristike CRS (*Croatian Register of Shipping*)². Četvrto poglavlje, ujedno i najopširnije bavi se silama i momentima koji nastaju kada se kormilo zakrene za neki određen kut, a unutar tog poglavlja spominju se faze trajektorije okretanja broda, elementi te trajektorije te samo međudjelovanje vijka i kormila. Peto poglavlje odnosi se na upravljivost broda. U njemu su prikazani i analizirani pokusi koji se koriste za ocjenjivanje upravljivosti broda.

² CRS - *Croatian Register of Shipping* (Hrvatski registar brodova)

2. KORMILARENJE I KORMILO

Kormilarenje je upravljanje brodom pomoću kormila i obuhvaća dva različita djelovanja: skretanje s kursa i zadržavanje kursa. Tijekom povijesti velika je pažnja bila posvećena prvom stajalištu, no danas se objema stanovištima pridaje jednaka pozornost. Nekim brodovima, kao što su trajekti, obalni brodovi, tegljači, primarna je funkcija okretljivost, tj. sposobnost nagle promjene kursa, dok kod brodova duge plovidbe održavanje kursa tijekom plovidbe mnogo je važnije od skretanja i okretanja u krugu malog promjera.

U suvremeno doba, kormilo/kormila se najčešće koriste za upravljanje brodom, ali to ne znači da ne postoje i druge vrste sustava za upravljanje. Osim kormila u sustavu upravljanja koriste se:

- okretne sapnice
- azimutni porivnici
- cikloidni porivnici
- vodomlazni porivnici.

Kormilo je naprava pričvršćena na krmu broskog trupa i služi za upravljanje brodom (bilo da se želi zadržati smjer plovidbe ili promijeniti smjer plovidbe). Danas je daleko najrašireniji uređaj za upravljanje brodom. Upravo radi prirode svog posla kormilo mora izdržati tlakove, sile i momente koje nastaju otklonom pri najvećoj brzini broda. Pri tome treba uzeti u obzir vanjske sile koje se drastično uvećavaju uslijed nepovoljnih vremenskih uvjeta, poglavito zbog ljuljanja i posrtanja broda. Broj kormila, njihovu veličinu te smještaj kormila određuje broj vijaka, veličina broda te opis posla broda. Postoje specijalizirane vrste brodova kao što su trajekti, brodovi za ribolov itd. koji pored kormila na krmu imaju i posebna kormila na pramcu radi prirode svog posla. Na brodovima s jednim klasičnim vijkom kormilo se stavlja odmah iza vijka, tako da se što bolje iskoristi utjecaj vodenog mlaza koje vijak stvara te tako ima pozitivan utjecaj na kormilo. Na brodovima s dva vijka postoje dvije mogućnosti ugradnje kormila. Prva mogućnost je ugradnja u uzdužnicu broda što smanjuje sposobnost manevriranja jer se povoljni utjecaj vijčanog mlaza očituje jedino

prilikom većeg otklona kormila. Druga mogućnost je ugradnja kormila iza svakog vijka kad je brodu potrebna veća mogućnost okretljivosti.



a) jednovijčani brod



b) dvovijčani brod

Slika 1 Smještaj kormila na krmi broda

Izvor: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:499118>

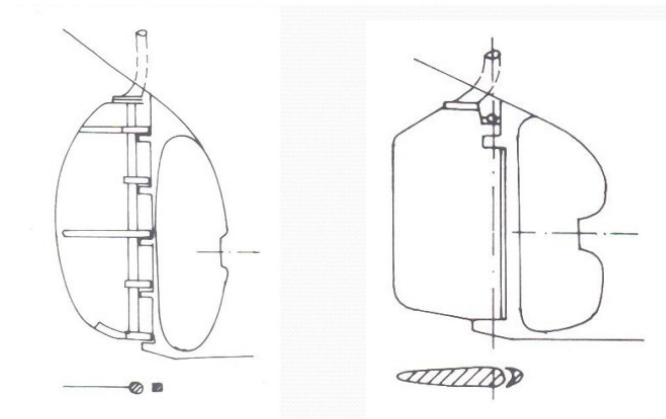
2.1. PODJELA KORMILA

Razvojem pomorstva kroz povijest su se mijenjali modeli kormila. Danas, u suvremenoj brodogradnji, primjenjuje se nekoliko različitih izvedbi kormila, ovisno o tipu, veličini i brzini broda. Osim ovih glavnih faktora kod izvedbe i oblika kormila, veliku ulogu imaju i drugi faktori kao što su posebni zahtjevi vlasnika ili brodograditelja, područja plovidbe, dubina vode itd.

Prema obliku presjeka lista, kormila mogu biti:

- plosna
- strujna.

Plosna kormila prilikom zakretanja imaju puno veći otpor kroz vodu od strujnih kormila što je rezultiralo da ih se danas ne upotrebljava na većim brodovima. Druga izvedba je strujno kormilo koje je pokazalo odličnu efikasnost prilikom manevra broda. Strujno kormilo ima kapljičasti presjek simetričnog oblika (hidrodinamički oblik) koji smanjuje otpor prilikom zakretanja.



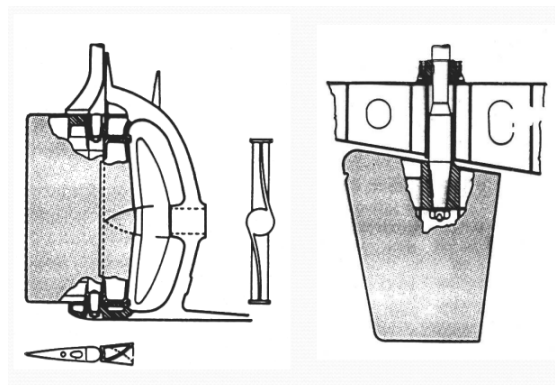
Slika 2 Plosno i strujno kormilo

Izvor: Mohović, R.: Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijal

Prema načinu kako su kormila pričvršćena na brod, kormila se dijele na:

- kormila s uporištem u peti
- viseća kormila.

Kormila s uporištem u peti pričvršćena su na brod preko jednog ili više ležaja na krmenoj statvi i na samom kormilu, dok je viseće kormilo pričvršćeno isključivo preko svoje osovine.



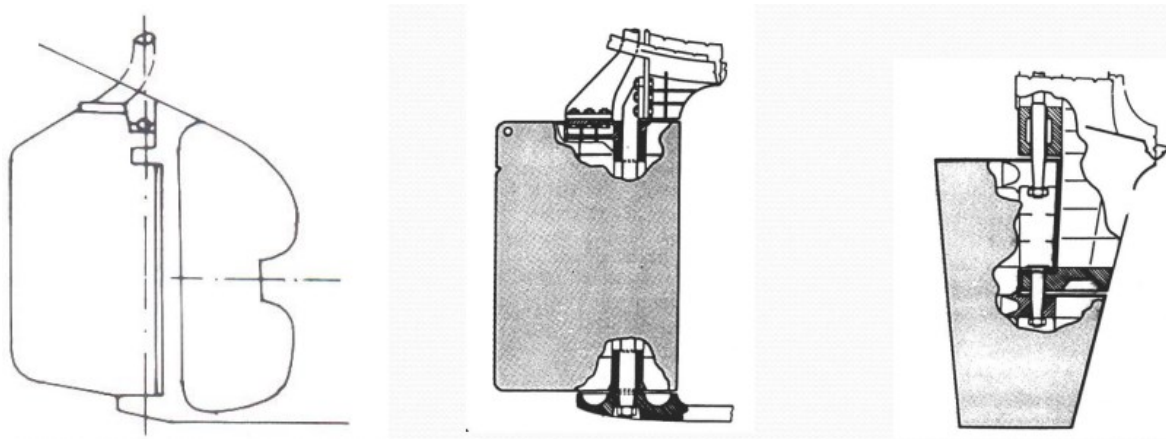
Slika 3 Podjela kormila prema načinu pričvršćenja za brod

Izvor: Mohović, R.: Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijal

Sedamdesetih godina 19. stoljeća uvodi se balansno kormilo. Time se povećala površina kormila, a budući da je jedan dio površine pomaknut ispred osovine, smanjen je i moment potreban za zakretanje. Brodovima su poboljšana manevarska svojstva jer se mogla povećati površina lista, a kormilo se moglo prebaciti u mnogo kraćem vremenu. Da bi se smanjio moment sile kormila oko osovine kormila, a time i potrebna izlazna snaga kormilarskog stroja, na brodove se ugrađuju polubalansna i balansna kormila.

S obzirom na omjer površine kormila koji se nalaze ispred i iza osovine rotacije kormila se dijele na:

- nebalansno kormilo, ima cijelu površinu lista kormila iza osovine
- polubalansno kormilo, 10 do 15% površine lista kormila ispred osovine
- balansno kormilo, 20 do 25% površine lista kormila ispred osovine.



Slika 4 Podjela kormila na nebalansna, polubalansna i balansna kormila

Izvor: Mohović, R.: Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijal

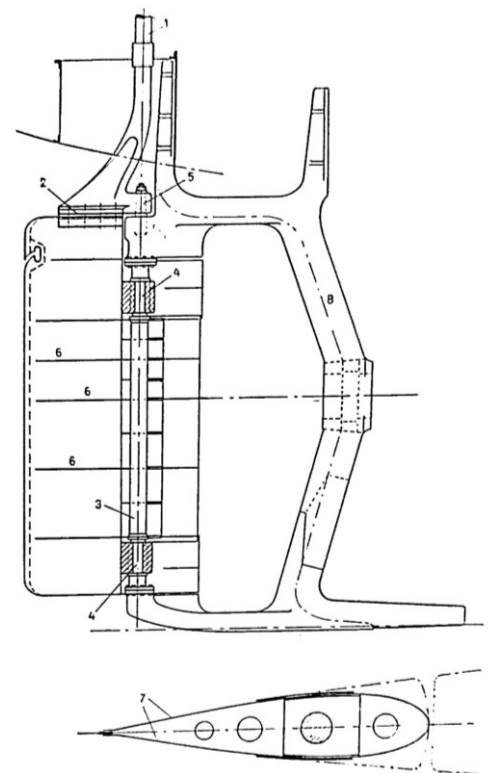
U današnje vrijeme, razvijeni su posebni tipovi kormila koji imaju poboljšana svojstva i karakteristike od klasičnih kormila. Primjerice, kormilo s flapom je oblik kormila s dodatnim zakretnim krilima (flapovima) kojima se postiže veća sila uzgona na listu kormila pri istom kutu otklona, te smanjuje moment koji je potreban kormilarskom stroju za otklon kormila. Kormilo sa zakrivljenim prednjim rubom ima cilj smanjenja pojave korozije na kormilu (kao što su erozija i kavitacija) koje nastaju radi turbulentnog strujanja vode uzrokovanog okretanjem vijka. Poznato je da postoji velik broj raznih vrsta kormila, ali ih je u upotrebi ostalo relativno malo jer su se neka, iako teoretski dobro zamišljena, u praksi pokazala neupotrebljiva.

Navedena kormila djeluju na osnovi strujanja vode, tj. brod s takvom vrstom kormila može najbolje kormilariti kada se kreće kroz vodu. Takva se kormila nazivaju pasivnim kormilima. Na većim brodovima se ponekad ugrađuju i aktivna kormila, koja omogućuju kormilarenje i kad brod miruje. Naime, takvi tipovi kormila nalikuju klasičnim pasivnim kormilima, ali na sebi imaju ugrađen i elektromotor za pogon malog vijka, čime se ostvaruje bolja učinkovitost kormila. Ona se mogu više zakretati (70° do 90°) i služe kao neka vrsta bočnog porivnika na krmu. Za vrijeme plovidbe na ova kormila postavlja se graničnik koji ne dozvoljava otklon kormila veći od 35° .

Osobit interes ovog završnog rada pridat je načinu na koji se danas koriste pasivna kormila (klasična kormila hidro-dinamičkog oblika), stoga se sva daljnja razmatranja u ovom radu odnose na taj tip kormila.

2.2. DIJELOVI KORMILA

U suštini kormilo se sastoji od dva glavna dijela: lista kormila i osovine. Na list kormila djeluje strujanje vode, a osovina prenosi silu od kormilarskog stroja na list kormila. Pored ova dva glavna dijela, kormilo je još sačinjeno i od manjih elemenata.



Slika 5 Dijelovi balansnog kormila

Izvor: Pomorska enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1978. odrednica: kormilarski stroj - kormilo, str. 65.

Dijelovi kormila:

- 1 - osovina
- 2 - spojka
- 3 - struk
- 4 - ležaj
- 5 - štenac
- 6 - pojačanja
- 7 - opločenje kormila
- 8 - statva.

3. KORMILARSKI STROJ

Kormilarski stroj je uređaj koji služi za zakretanje lista kormila. Tijekom plovidbe on je u neprestanoj uporabi te bilo kakvo njegovo oštećenje može imati velike posljedice na sigurnost broda. Stoga je nužno da kormilarski stroj i njegove komponente budu vrlo pouzdani. Iz toga razloga propisi klasifikacijskih društava zahtijevaju da svi brodovi budu opremljeni glavnim i pomoćnim kormilarskim strojem.

Propisi klasifikacijskog društva u Hrvatskoj ili CRS (*Croatian Register of Shipping*), nalažu da bi glavni kormilarski stroj trebao biti sposoban prebaciti kormilo od 35° s jedne strane do 35° na drugu stranu dok brod plovi najvećim dozvoljenim gazom pri najvećoj mogućoj brzini brod. Istodobno vrijeme za prebacivanje kormila od 35° s jedne strane na 35° druge strane ne smije biti dulje od 28 sekundi uz isti broj okretaja osovine.

Pravila nalažu da je potrebno predvidjeti i pomoćni kormilarski stroj, osim kada se glavni kormilarski stroj sastoji od udvojene jedinice, ili od elektro-hidrauličke jedinice s dvije nezavisne pumpe i odvojena kruga ostvarivanja snage. Pomoćni kormilarski stroj, ako se postavlja, mora biti sposoban za prebacivanje kormila od 15° odklona kormila s jedne strane na 15° odklona kormila na drugu stranu u najviše 60 s, dok brod plovi u najvećem dopuštenom gazu naprijed s pola brzine ili sa 7 čv, već prema tome koje je od to dvoje veće. U svakom slučaju, pomoćni kormilarski stroj zahtijeva se kada gornja osovina kormila ima promjer veći od 30 cm na putničkim brodu, odnosno 35,5 cm na teretnom brodu.³

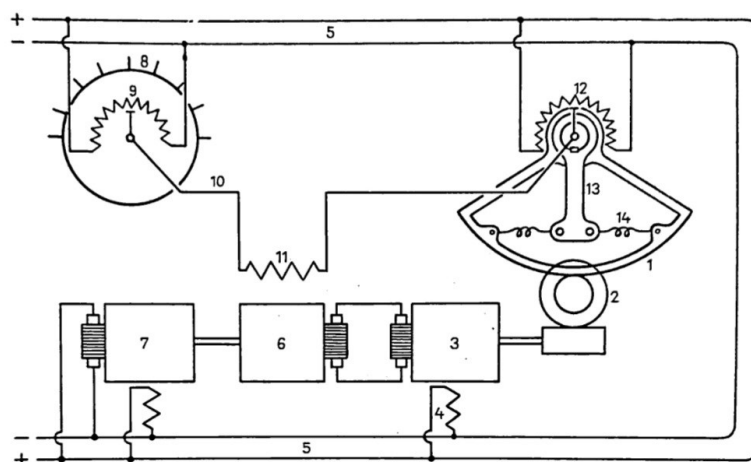
Kod manjih brodova list kormila je moguće zakretati ručno, no kod većih brodova u plovidbi potreban je stroj dovoljne snage. Zakretanje kormila najčešće se ostvaruje sljedećim uređajima:

- električnim, s pripadajućim elektro-motorom i njegovom opremom te električnim upravljačkim elementima
- elektro-hidrauličnim, s pripadajućim elektro-motorom, hidrauličnom pumpom, hidrauličnim motorom te hidrauličnim i električnim upravljačkim elementima.

Električni stroj za zakret lista kormila koristi isključivo struju dobivenu iz brodskih generatora. Elektromotor djeluje na kormilo najčešće preko kvadranta koji je uglavljen na struk kormila.

³ Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 9., Strojevi, HRB.

Na sljedećoj slici prikazan je električni kormilarski stroj s kvadrantom uglavljenim za vrh osovine.



Slika 6 Prikaz sustava upravljanja električnog kormilarskog stroja

Izvor: Pomorska enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1978. odrednica: kormilarski stroj - kormilo, str. 65.

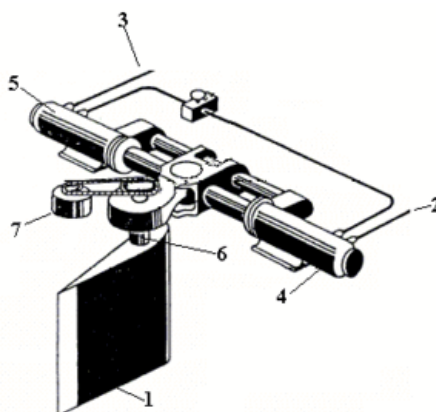
Dijelovi kormilarskog stroja prikazani na slici 6:

- 1 - kvadrant kormila
- 2 - zupčani prijenos pogonskog elektromotora na kvadrant kormila
- 3 - pogonski elektromotor
- 4 - magnet za pogonski elektromotor
- 5 - brodska električna mreža
- 6 - generator istosmjerne struje za pogonski motor
- 7 - elektromotor za pogon generatora istosmjerne struje
- 8 - kormilarsko kolo
- 9 - davač impulsa
- 10 - kabel
- 11 - magnet za generator istosmjerne struje
- 12 - povratni uređaj
- 13 - rudo kormila
- 14 - uzde s tlačnim perima.

Hidraulični stroj za prekretanje kormila ima najčešću primjenu na suvremenim brodovima. Za rad pomoćnih sustava hidrauličnog stroja koristi se električna energija. Pomoćni uređaji tlače hidraulično ulje te se tako postiže sila koja je dovoljna za prekret kormila. Danas su na brodovima najzastupljenije ove dvije izvedbe elektro-hidrauličnog kormilarskog stroja:

- hidraulični klipni kormilarski stroj
- hidraulični rotacijski kormilarski stroj.

Obje izvedbe rade na istom principu gdje se koristi tlačeno ulje za prekretanje pomičnih dijelova koji su povezani na osovinu kormila te ga zakreću u stranu gdje je kormilarsko kolo okrenuto. Hidraulična pumpa je dio uređaja kojoj je dovedena neka vanjska mehanička energija najčešće elektromotor koji tu vanjsku mehaničku energiju pretvara u energiju hidrauličnog fluida. Na posljétku taj fluid ulazi u cilindar te se energija hidrauličnog fluida pomoću cilindra prenosi na osovinu kormila i tako dolazi do zakretanja lista kormila.



Slika 7 Hidraulični kormilarski stroj

Izvor: Pomorska enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1978. odrednica: kormilarski stroj - kormilo, str. 65.

Upravljački mehanizam određuje smjer u koje će hidraulične cilindre ulje ući te tako propušta ulje kroz cijev 2 ili kroz cijev 3. Nastavno tome raste tlak unutar cilindra 4 ili 5, te se tako tlak prenosi na hidraulični klipni mehanizam koji je spojen na osovinu kormila 6. Okretanjem osovine kormila, okreće se i list kormila 1.

4. DJELOVANJE KORMILA NA OKRETANJE BRODA

Manevarska sposobnost broda osnovna je plovidbena sposobnost. Razvojem suvremenog brodarstva i povećanja gustoće pomorskog prometa, opseg istraživanja manevriranja brodom postupno se povećavao. Na ispitivanje kormila i kormilarenja ulaže se puno napora, ali još nisu istražene u cjelini sve hidro-dinamičke pojave u vezi s kormilom. Zasad se problemi kormila i kormilarenja rješavaju na temelju iskustva ispitivanjem na manjim modelima brodova u bazenima i prilikom prve primopredaje broda. Manevarska svojstva broda uvelike ovise o učinkovitosti kormila. Jedan od značajnih čimbenika je i površina kormila.

Potrebna površina kormila određuje se računski, uzevši u obzir brzinu broda, oblik kormila, njegov smještaj na brodu, te površina i oblik uronjenog djela broda. Prilikom određivanja površine kormila treba uzeti u obzir da se kod brodova koji plove kanalima brzina ciljano smanjuje te će se tako smanjivati i sila kormila. Još je veći utjecaj na silu kormila kada brod plovi prazan jer kormilo često izroni iz mora pa se sila kormila uvelike smanji. Pored računskog određivanja površine kormila, površina se vrlo često određuje iz već gotovih tablica sastavljenih na temelju iskustva. Tako su, npr. za razne tipove brodova u tablicama date površine kormila u odnosu na umnožak duljine i gaza broda.⁴

Tablica 1 Površina kormila u odnosu na umnožak duljine i gaza broda

TIP BRODA	OMJER
Prekooceanski brodovi	1:70
Manji brodovi	1:50
Putnički brodovi	1:40
Ratni brodovi	1:30
Tegljači	1:30

S tako određenom površinom kormila i brzinom dobiva se sila na kormilu i momenti s obzirom na osovinu lista kormila. Taj nam je podatak potreban za proračun čvrstoće kormila. Na trgovačkim brodovima se primjenjuju propisi klasifikacijskog društva kojima je propisano sve što je potrebno za izradu kormila, kao što su: promjer osovine kormila, dimenzija struka, debljina limova, broj i dimenzije štenaca, dimenzije spojki.

⁴ Pomorska enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1978.

Da bi brod postigao dovoljno dobra manevarska svojstva koja uvelike ovise o kormilu, Hrvatski registar brodova propisuje pravila⁵ koja nalažu da površina lista kormila ne bude manja od vrijednosti dobivene iz ove formule:

$$A = 0.0175 \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times L \times d$$

gdje su:

A - površina pokretnog dijela lista kormila (m²)

C1 - koeficijent ovisan o vrsti broda

C2 - koeficijent ovisan o vrsti kormila

C3 - koeficijent ovisan o profilu lista kormila

C4 - koeficijent ovisan o smještaju kormila

L - duljina broda između okomica (m)

d - konstrukcijski gaz broda (m).

4.1. SILA KORMILA

Uslijed kretanja broda kroz vodu, oko broda se stvaraju polja povišenog i sniženog tlaka. Ova hidro dinamička pojava rezultat je različite brzine strujanja vode uokolo broda. U skladu s jednadžbom kontinuiteta strujanja na maloj udaljenosti ispred i iza broda strujnice vode se šire, dok se uz bok broda one međusobno približavaju. Prema Bernoullievoj⁶ jednadžbi tako nastaju polja visokog i niskog tlaka. Za potrebe ovog rada koristi se pojednostavljeni izraz Bernoullijeve jednadžbe primjeren za razmatranje stvaranja polja povišenog i sniženog tlaka u području uronjenog dijela trupa.

$$p + \frac{1}{2} \rho_v \cdot v^2 = const.^7$$

Prilikom plovidbe u zadanom kursu s kormilom u sredini, strujanje vode oko brodskog trupa je simetrično u odnosu na uzdužnicu broda. Radi uzdužne simetrije, poprečne sastavnice pritiska međusobno se poništavaju te na brod jedino djeluju sila poriva T i sila otpora D, uz pretpostavku da je njihovo težište u ravnini simetrije. Uslijed zakretanja kormila

⁵ Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 9., Strojevi, HRB.

⁶ Daniel Bernoulli, švicarski matematičar i fizičar

⁷ Pojednostavljeni izraz Bernoullijeve jednadžbe.

iz centralnog položaja za kut α , narušava se simetrija strujanja mora pa time i jednaka raspodjela tlakova na kormilo, uslijed čega se javlja sila kormila F_R . Radi pojednostavljenja daljnjeg razmatranja, smatra se da ova sila djeluje okomito na centralnu ravninu kormila i da joj je hvatište u težištu lista kormila (pretpostavke nisu posve točne, ali zadovoljavaju sa stanovišta praktične primjene). Sila F_R će imati utjecaj na linearno i rotacijsko gibanje broda (linearno gibanje u smjeru triju osi i rotacijsko gibanje oko tih triju osi). Najvažnija djelovanja su: rotacija oko vertikalne osi i uzdužne osi (zakretanje i nagibanje broda) i linearno u smjeru poprečne osi (zanašanje broda). Zakretom kormila želi se postići samo zakretanje broda, dok su sva ostala gibanja neželjena, ali i neizbježna.

Zakretanjem lista kormila dok okolna voda miruje nema nikakvog učinka. Kada se brod kreće, zakrene li se list kormila za kut α , počinje strujanje koje će izazvati silu na kormilu. Po Bernullijevom zakonu hidrodinamike povećanje brzine strujanja je popraćeno smanjivanjem tlaka, a smanjivanje brzine strujanja je popraćeno povećanjem tlaka, što znači da na prednjoj strani kormila dolazi do povećanja tlaka (nad-tlak), a na stražnjoj strani do smanjenja tlaka (pod-tlak). Rezultanta razlika tih tlakova stvara silu uzgona na listu kormila F_L . List brodskog kormila može se razmatrati kroz teoriju krila malog izduženja (hidrodinamički presjek lista kormila)⁸. Koristeći se tom teorijom, silu kormila F_R , na površini kormila A_R , koja se nalazi u vodi brzine V_R , pod kutom α , može se raščlaniti na dvije međusobno okomite komponente: sila otpora u smjeru pritjecanja vode na kormilo F_D i silu dinamičkog uzgona F_L , okomito na smjer brzine pritjecanja vode na kormilo. Sila otpora i sila uzgona može se odrediti uz pomoć sljedećih izraza⁹:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho A_R V_R^2 C_D(\alpha)$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho A_R V_R^2 C_L(\alpha)$$

Koeficijenti otpora C_D i uzgona C_L određuju se pokusima na modelima brodova u bazenima. Ukupna sila kormila F_R transformira se iz strujnog u brodski koordinatni sustav primjenom sljedećih jednadžbi:

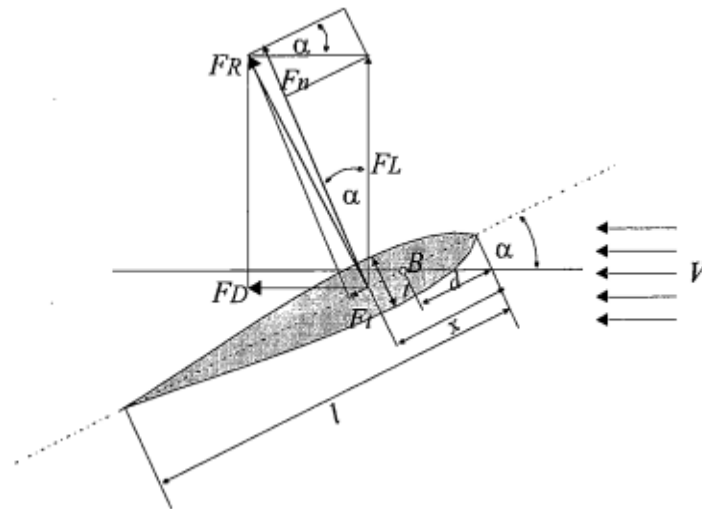
$$X_R = F_L \sin \beta_R - F_D \cos \beta_R$$

$$Y_R = F_L \cos \beta_R + F_D \sin \beta_R$$

⁸ Hidro-dinamičke sile u sustavu brod-trup-vijak, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, sile na kormilu.

⁹ Hidro-dinamičke sile u sustavu brod-trup-vijak, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, sile na kormilu.

Komponenta X_R djeluje na osi uzdužnice broda x , a komponenta Y_R je okomita na os uzdužnice broda x , te rezultanta tih komponenti čini silu kormila F_R .



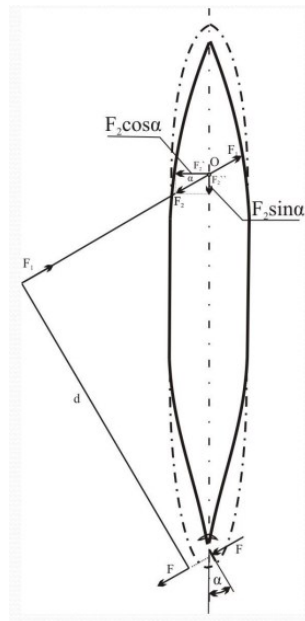
Slika 8 Hidro-dinamička sila na kormilu

Izvor: https://student.fsb.hr/upravljivost-broda/old_UB/ub2.3..htm

Teorijski gledano brod bi se trebao najbrže zakrenuti ako je kut otklona lista kormila 45° , ali pri otklonu lista kormila od 35° do 45° , sila okretanja sporo raste, dok se otpor povećava ubrzano te pri tome kutu otklona dolazi do turbulencija koje negativno djeluju na zakretanje broda. Upravo zato se u praksi najčešće koristi kut otklona lista kormila između 35° i 40° . Zbog toga su se na starijim brodova, s mogućnošću većeg otklona kormila, ugrađivali graničnici koji nisu dozvoljavali okretanje kormila preko 35° . Kad brod plovi krmom (natrag) i kormilo mu je u sredini, hvatište sile kormila nalazi se na stražnjoj strani lista kormila. Kad se kormilo zakrene i za najmanji kut, hvatište sile se pomiče i sila počinje djelovati na velikoj poluzi koja je gotovo jednaka cijeloj širini lista kormila. Osim toga, tlak vode ne potiskuje list kormila prema srednjem položaju (kao što je to kad brod plovi pramcem), nego upravo suprotno, tlak ga želi još više iskrenuti na stranu. Prilikom vožnje krmom (natrag), moment sile kormila veoma je velik jer djeluje na velikoj poluzi pa se zato s kormilom mora vrlo oprezno rukovati da ne dođe do oštećenja kormilarskog stroja.

4.2. ZAKRETANJE BRODA DJELOVANJEM KORMILA

Do zakretanja broda dolazi uslijed djelovanja zakretnog momenta, a zakretni moment nastaje kada sila, odnosno više njih (rezultanto djelovanje) djeluju na poluzi određene duljine.¹⁰



Slika 9 Djelovanje sile kormila

Izvor: Mohović, R.: Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijali

Sila F predstavlja silu kormila koja djeluje približno u težištu površine kormila. Umnoškom sile kormila F i poluge d (udaljenosti težišta kormila od točke okreta broda) nastaje zakretni moment koji želi zakrenuti brod. Sila F_1 predstavlja silu u točki okreta broda i zakreće pramac u stranu otklona kormila. Sila F_2 isto djeluje u točki okreta te je jednaka veličini sile F_1 , ali je suprotnog smjera. Sila F_2 može se rastaviti u dvije komponente:

$$F_2'' = F_2 \sin \alpha$$

$$F_2' = F_2 \cos \alpha$$

Komponenta F_2'' koja djeluje u uzdužnici, u suprotnom smjeru od gibanja broda (otpor kormila), dok je komponenta F_2' okomita na uzdužnicu i izaziva zanošenje i naginjanje broda.

Točka okreta broda prilikom vožnje pramacem (naprijed) nalazi se ispred sustavnog težišta broda i smještena je na približno 1/4 duljine broda (ovisno o tipu broda i rasporedu tlakova uokolo trupa broda) od pramčane statve, što znači da je poluga d poprilično velika

¹⁰ Mohović, R.: Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijali

te je i mala sila kormila dovoljna da proizvede zakretni moment koji će zakrenuti brod. Kako se oko uronjenog broda nalazi vodena masa, prilikom zakretanja vodena masa ispred točke okreta pomaže prilikom zakreta, a vodena masa iza točke okreta stvara otpor koji dodatno smanjuje brzinu prilikom zakretanja broda.

Ako je brod pretežan, točka okreta broda će se pomaknuti još više naprijed u smjeru pramčane statve i obratno ako je brod zatežan. Zbog toga brodovi koji su pretežni prilikom vožnje naprijed imaju bolju okretljivost, ali je slabija stabilnost kursa. Budući da kod preoceanskih brodova veću važnost ima stabilnost kursa, brod se uvijek više drži zatežnim zato da bi bio bolji u održavanju kursa (ova teza je djelomično točna i ovisi od broda do broda). Suvremenim istraživanjem došlo se do zaključka da pretežni brod ima bolja hidrodinamička svojstva, što se odmah odražava na smanjenu potrošnju goriva.

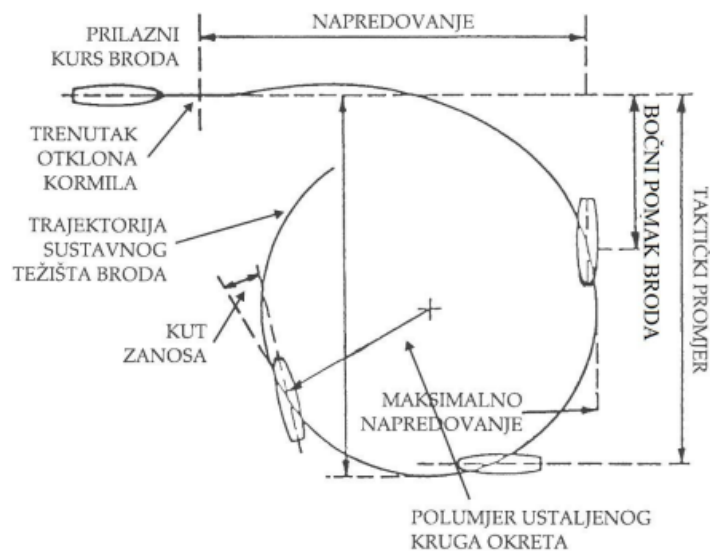
Za vrijeme kretanja krmom (natrag) dolazi do zakretanja, ali je zakretni moment osjetno slabiji pa brod pri kretanju natrag ima manju manevarsku sposobnost. Pri kretanju i vožnji pramcem (naprijed) strujnice bolje pritječu na list kormila (strujnice se stvaraju od kretanja broda naprijed i od djelovanja strujnica s vijka na list kormila) pa je u tom slučaju kormilo puno efikasnije. Za vrijeme vožnje krmom (natrag) strujnice na list kormila dolaze isključivo od gibanja broda natrag i vrlo malo od usisavanja vijka. U ranim fazama kretanja krmom (natrag) brzina broda je mala te je i brzina strujanja vode na list kormila mala, što rezultira da je sila kormila nedovoljna da bi proizvela zakretni moment kojim bi se zakrenuo brod. Treba napomenuti da prilikom vožnje krmom (natrag) točka okreta se približava krmu i smještena je na približno $1/4$ duljine broda od krme te se dodatno smanjuje poluga d (udaljenosti težišta kormila od točke okreta broda).

Kada se brod s jednim vijkom želi naglo zakrenuti u što manjem prostoru izvodi se manevar „kick ahead“. Taj manevar se izvodi tako da se kormilo postavi u stranu na koju se želi zakrenuti brod te stroj postavi na maksimalnu snagu vožnje naprijed. Radi novog rasporeda tlakova uokolo broda točka okreta broda pomiče se na približno $1/8$ duljine broda od pramčane statve. To pomicanje povećava polugu d na kojoj djeluje sila kormila te povećava zakretni moment i omogućava brodu brže zakretanje.

4.3. GIBANJE BRODA PRI ZAKRETANJU

Sustavno težište broda giba se po krivulji koja na početku ima oblik spirale te na kraju prelazi u kružnicu. Prilikom zakretanja broda, brod rotira i oko svog težišta. Pri zakretanju, pramac broda se nalazi unutar krivulje koju upisuje sustavno težište broda, dok se krma nalazi izvan nje. Tako da simetralna ravnina broda s tangentom na kružnicu zatvara kut koji nazivamo „kut zanošenja β “. Polumjer trajektorije zakretanja broda naziva se „*radijus kruga okretanja r* “.

Distancu koju sustavno težište broda prevali u smjeru prvobitnog kursa od trenutka kad se kormilo otklonilo pa sve dok se prvobitni kurs nije promijenio za 90° naziva se „*napredovanje*“. Udaljenost težišta od prvobitnog kursa pa do težišta broda kada se kurs promjeni za 90° , naziva se „*bočni pomak broda*“. Distanca između prvobitnog kursa i sustavnog težišta broda kad se prvobitni kurs izmijenio za 180° naziva se „*taktički promjer kruga okretanja broda*“.



Slika 10 Elementi trajektorije okretanja broda

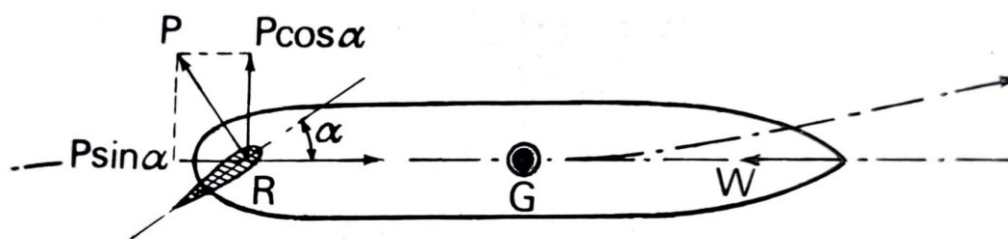
Izvor: Mohović, R.: Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijali

Za potrebe ovog rada trajektorija zakretanja broda raščlanit će se u tri faze¹¹.

Prva faza zakretanja broda započinje trenutkom zakretanja kormilom i traje do trenutka kada se brod počinje zakretati u željenu stranu. Zakretanjem kormila za kut α nastaje

¹¹ Pomorska enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1978.

sila kormila i zakretni moment. Upravo taj moment mora savladati tromost brodske mase zajedno sa znatnim dijelom vodene mase neposredno uz brodski trup. Prije nego li savlada moment tromosti mase, djelovanje poprečne komponente se odražava jedino u pomicanju čitavog broda u poprečnom, na uzdužnicu broda okomitom smjeru. Pomicanje je izraženije na krmi broda nego li na pramcu. Prva faza ne traje dugo, ali poprečno pomicanje, posebno krme, može biti znatno. To je vrlo izraženo kod širokih brodova malog gaza. Ako se to poprečno pomicanje ne uzme u obzir može doći do nezgode kao što je bočni udar broda o obalu ili drugi brod. Prema tome, brod se u prvim trenutcima neposredno nakon skretanja kormila u jednu stranu giba u suprotnu stranu od onoga što se htjelo postići skretanjem kormila. Brzina broda u prvoj fazi kruga okreta se lagano smanjuje jer se povećava otpora zbog zanašanja broda.

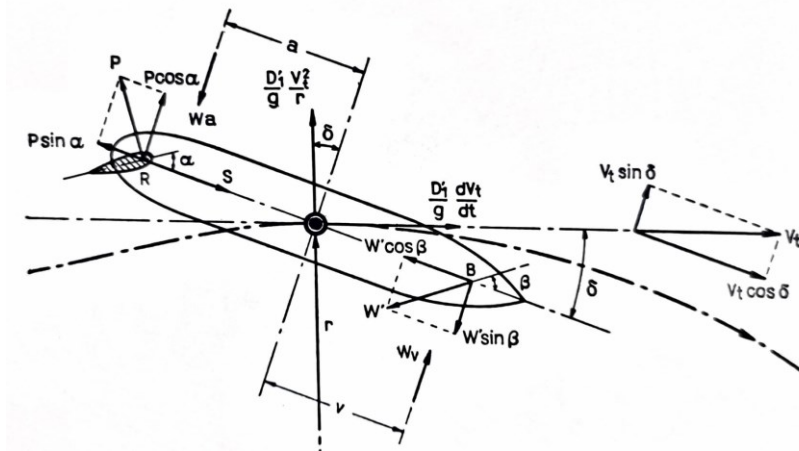


Slika 11 Djelovanje sila za vrijeme prve faze zakretanja broda

Izvor: Pomorska enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1978. odrednica: kormilarenje, str. 61.

Druga faza zakretanja broda započinje okretanjem broskog pramca u željenom smjeru u trenutku kada moment sile kormila nadvlada moment tromosti brodske mase s masom vode uz trup broda. Zakretanjem broda otpor značajno raste, te se zbog toga u drugoj fazi kruga okreta brzina broda značajno smanjuje. Tijekom druge faze kutna brzina okretanja neprestano raste. Sili kormila pomaže komponenta sile otpora broda, koja prestaje djelovati u uzdužnoj simetrali broda. S porastom brzine zakretanja smanjuje se polumjer trajektorije zakretanja po kojem se brod zakreće. Brod se nastavlja dalje zakretati po krivulji čiji se polumjer konstantno smanjuje. Brod se zakreće oko točke okreta koja se nalazi na približno 1/3 duljine broda od pramčane statve (točka okreta se uslijed zakretanja i djelovanja otpora

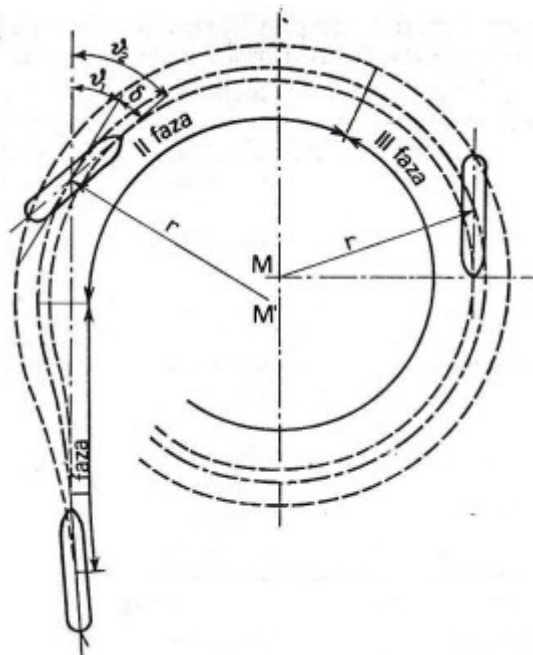
pomiče s približno 1/4 na 1/3 duljine broda od pramčane statve). Tijekom druge faze neprestano se mijenjaju veličine svih sila i momenata koji djeluju u sustavu.



Slika 12 Djelovanje sila za vrijeme druge faze zakretanja broda

Izvor: Pomorska enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1978. odrednica: kormilarenje, str. 61.

Treća faza zakretanja broda nastupa kada se uravnoteže sve sile i momenti, pa se u toj fazi brod kreće konstantnom brzinom po krivulji konstantnog radijusa (kružnica), a konstantna je i kutna brzina zakretanja broda. Treća faza kod većine brodova započinje kada se promjeni prvobitni kurs za približno 100° do 120°.



Slika 13 Trajektorija zakretanja broda predočena u tri faze

Izvor: Pomorska enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1978. odrednica: kormilarenje, str. 61.

Prilikom zakretanja broda mijenja se linearna brzina V_G težišta broda. Na početku prve i druge faze zakretanja, brzina broda naglo pada sve dok u trećoj fazi zakretanja brzina ne postane konstantna a krivulja po kojoj se težište giba ne postane kružnica.

Analizirajući mjerenje trajektorije zakretanja ratnih brodova s dva vijka i sa skrokovima, znanstvenik Schoenherr izveo je empirijsku formulu¹² kako bi postavio vezu između brzine brodova koji se zakreću i brzine brodova pri plovidbi u stalnom kursu:

$$\frac{V_G}{V} = 1 - \frac{\alpha}{K_s} \frac{Ar}{A_s}$$

V_G predstavlja konstantnu brzinu prilikom zakretanja broda, V je brzina broda tijekom zakretanja, α kut odklona lista kormila u stupnjevima, Ar je površina kormila, A_s predstavlja površinu središnje ravnine uronjenog dijela broda, K_s je koeficijent zavisan o omjeru $\nabla / A_s L$, gdje je ∇ volumen uronjenog dijela broda, a L dužina broda na vodenoj liniji:

Tablica 2 Omjer uronjenog dijela i duljine broda

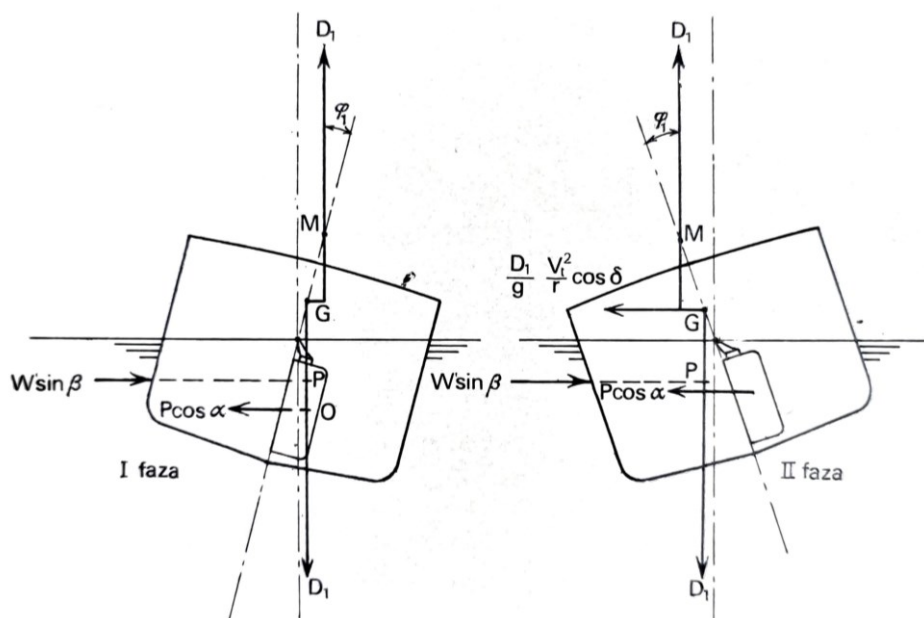
K_s	4,25	3,33	2,68	2,27	2,02	1,88	1,83
$\nabla / A_s L$	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,15

Do naginjanja dolazi neizbježno radi utjecaja poprečnih sila koje se ne nalaze u jednakoj horizontalnoj ravnini. Uslijed zakretanja broda dolazi i do promjene nagiba jer se mijenjaju poprečne sile.

Naginjanjem broda za vrijeme prve faze zakretanja dolazi do izražaja poprečna komponenta sile kormila, koja se troši na svladavanje otpora vode bočnim pomicanjem broda. Hvatište sile kormila obično leži ispod hvatišta sile bočnog otpora. Nastali moment u vertikalnoj ravnini naginje brod prema središtu kruga zakretanja. Tijekom druge faze zakretanja raste kutna brzina, pa tako raste i centrifugalna sila, čije se hvatište nalazi u sustavnom težištu broda koje se nalazi iznad hvatišta sile bočnog otpora broda. Najveći kut nagiba broda nastaje u trenutku kada moment centrifugalne sile premaši moment iz prve faze i prebaci brod s unutarnjeg boka na vanjski bok. Uslijed djelovanja prekretnog momenta koji je dinamički, brod se u prvi čas nagne znatno preko položaja statičke stabilnosti broda. U daljnjem okretanju kut nagiba se smanjuje.

¹² Jugoslavenski leksikografski zavod 1978: Tehnička enciklopedija, odrednica: brod-kormilarenje, str. 222.

Maksimalni kut nagiba se pojavljuje upravo u trenutku kada se brod prebacuje s jednog boka na drugi bok, u slučaju premale stabilnosti može izazvati i prevrtanje broda. Ovaj maksimalni kut nekada zna za 15° premašiti kut statičkog nagiba, što često kod putnika i posade uzrokuje paniku. Veliki kut nagiba može se jedino izbjeći plovidbom manjom brzinom prije okretanja, odnosno uporabom manjih kutova otklona lista kormila. Najgore je ako se za vrijeme prebacivanja broda s boka na bok kormilar prestraši pa u želji da smanji kut nagiba, vrati kormilo u središnji položaj. Time prestaje djelovati sila kormila koja stvara moment suprotan momentu centrifugalne sile te moment centrifugalne sile dolazi do još većeg izražaja i brod se još više nagne. Većim kutovima nagiba su podvrgnuti brodovi s visokim položajem težišta te malom metacentarskom visinom.



Slika 14 Nagibanje broda za vrijeme prve i druge faze zakretanja broda

Izvor: Pomorska enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1978. odrednica: kormilarenje, str. 61.

4.4. MEĐUDJELOVANJE VIJKA I KORMILA

Kad se brod kreće uz pomoć stroja, vijak usisava vodu koja se nalazi ispred njega i tlači je prema kormilu. Usisna struja se stvara ispred vijka, teče gotovo paralelno s kobilicom i nema zakretnog momenta. Iza vijka se stvara struja koja zbog vrtnje vijka protječe i udara s obje strane u kormilo. Desna i lijeva sila jednom od svojih komponenata djeluju okomito na brodsku kobilicu i na kormilo. Unatoč tome što se vijak nalazi simetrično ispred kormila, a okomite komponente tlače kormilo s obje strane, brod će se ipak zakretati, upravo zato što strujnice vijka ipak ne tlače kormilo jednako s obje strane.

Na stvaranje sile izboja utječu dva čimbenika:

- otpor vode pri vrtnji
- djelovanje vodenih strujnica koju stvara vijak (na trup broda i kormilo).

Nastanak i djelovanja sile izboja obično se razmatra na desno-okretnom vijku s fiksnim krilima, a zatim se iste zakonitosti primjenjuju na ostale vrste vijaka uz odgovarajuću interpretaciju smjera djelovanja sile izboja.

Krila desno-okretnog vijka koja se dižu, tlače vodu prema lijevoj gornjoj strani kormila, dok krila koje se spuštaju potiskuju vodu prema desnoj donjoj strani kormila. Proučavanjem se došlo do zaključka da je donji tlak veći (voda je homogenija) pa će se brod s desno-okretnim vijkom, s kormilom u centralnom položaju, zakretati lagano na desno. Zato što je otpor vode pri vrtnji veći od djelovanja vodenih strujnica na kormilo. Ovu zakonitost možemo primijeniti na lijevo-okretni vijak (zakretanje na lijevu stranu).

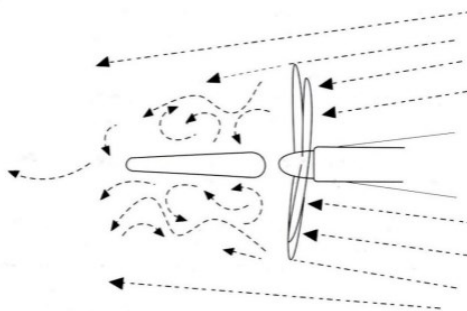
Kada se desno-okretni vijak s fiksnim krilima vrti u stranu tako da bi brod započinje vožnju krmom (na lijevu stranu), a kormilo je u centralnom položaju, na kormilo ne djeluje usisna struja, ali strujnice djeluju na brodsku krmu. Krila vijka koja se dižu tlače vodu u desni svod krme, a krila koja se spuštaju tlače vodu prema dolje, na lijevu donju stranu kobilice. Komponenta sile izboja koja nastaje uslijed otpora vode djeluje u lijevu stranu, kao što i komponenta sile izboja koja nastaje uslijed djelovanja vodenih strujnica na trup djeluje u lijevu stranu, što će rezultirati izbijanjem krme u lijevu stranu.

Osim vijaka s fiksnim krilima, postoje i vijci sa zakretnim krilima. Vijak sa zakretnim krilima nikad ne miruje već se stalno okreće u istom smjeru (desno ili lijevo ovisno o brodskom strojnom sustavu), a smjer poriva ostvaruje prekretnom krila.

Kod vijaka s prekretnim krilima sila izboja krme prilikom vožnje naprijed ima isti smjer kao i kod fiksnih vijaka, dok kod vožnje krmom prekretni vijci imaju drugačiji smjer izboja krme od fiksnih vijaka. To bi značilo da je kod desno-okretnog vijka s prekretnim krilima izboj krme u desnu stranu, a kod lijevo-okretnog vijka s prekretnim krilima izboj krme u lijevu stranu.

Kada se zaustavi vrtnja vijka s fiksnim krilima, on miruje (ne okreće se), a kako se brod i dalje giba prema naprijed, strujnice prolaze pokraj krila vijka što narušava dotok na list kormila, ali strujnice još uvijek uspijevaju stvoriti određenu razliku tlakova pri zakretu kormila.

Kod vijka sa zakretnim krilima vožnja naprijed zaustavlja se postavljanjem zakreta krila vijka (*pitch*) na 0, međutim vijak se i dalje vrti (ne zaustavlja se okretanje) pa strujnice od kretanja broda naprijed vrlo teško prolaze pored vijka koji se okreće. Pri tome je u potpunosti narušeno laminarno pritjecanje strujnica te dolazi do turbulencije koja ne dozvoljava stvaranje značajnije sile na kormilu pa je kormilarenje otežano.



Slika 15 Vijak sa zakretnim krilima (stvaranje turbulencije)

Izvor: Mohović, R.: Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijali

Treba napomenuti da brzina vrtnje vijka u odnosu na brzinu broda u plovidbi isto utječe na upravljivost broda. Postoje tri odnosa režima rada stroja i brzine broda¹³:

- kada je brzina vrtnje vijka veća od ekvivalentne brzine broda, tj. brod se pokreće ili povećava brzinu plovidbe (upravljivost je najbolja)
- kada je brzina vrtnje vijka jednaka ekvivalentnoj brzini broda, tj. brod plovi određenom brzinom plovidbe koja odgovara broju okretaja vijka (upravljivost broda je dobra)
- kada je brzina vrtnje vijka manja od ekvivalentne brzine broda, tj. brod smanjuje brzinu plovidbe (upravljivost broda je najslabija).

¹³ Mohović, R.: Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijali

5. UPRAVLJIVOST BRODA

Izraz „upravljivost“ broda obuhvaća više različitih stajališta s obzirom na svojstva upravljanja brodskim kursom, brzinom i orijentacijom za vrijeme plovidbe, kao i u ograničenim plovnim putevima. Neka svojstva upravljivosti potrebno je razmatrati i u nepovoljnim uvjetima (plovidba pod utjecajem vjetra, morske struje, valova, ...). Upravljivost proučava brodska svojstva kao što su: pokretanje, ubrzavanje, usporavanje, zaustavljanje, vožnja krmom, držanje kursa, promjena kursa i sl.¹⁴

Glavni zadatak projektanta je da brodu osigura što bolju upravljivost. Tijekom projektiranja većine klasičnih trgovačkih brodova najviše se razmatraju samo osnovna svojstva upravljivosti broda. Osnovna svojstva upravljivosti dijele se u tri grupe:

- dinamička stabilnost – svojstvo broda da drži kurs bez obzira na vanjske utjecaje
- okretljivost – kontrolirana promjena kursa, sa željom da se krajnji kurs postigne u što kraćem vremenu i u što manjem akvatoriju
- zaustavljivost – kontrolirano zaustavljanje broda, od zaustavljanja se očekuje da bude što brže i da brod prođe što manju udaljenost te bez većeg gubitka kontrole smjera gibanja.

Geometrija broda i njegov trim najviše utječu na dinamičku stabilnost i okretljivost. Kod klasičnih brodova svojstvo održavanja kursa i okretljivost su najčešće međusobno kontradiktorna. Brodovi koji su vrlo okretljivi često teško održavaju kurs za vrijeme plovidbe i obrnuto, brodovi koji lako održavaju kurs mogu imati problema prilikom promjene kursa ili zakretanja. Na sreću, kompromis između ta dva svojstva je u većini slučajeva moguć. Izabrana forma trupa, glavne dimenzije i karakteristike trupa, tip i veličina kormila, te rješenje propulzijskog sustava najviše određuju većinu svojstva upravljivosti broda. Neke od modifikacija moguće su i kasnije nakon detaljnije razrade projekta i izgradnje broda. One su obično vrlo minorne i ne toliko relevantne da bi utjecale na svojstvo upravljivosti projektiranog broda. Upravljivost broda je samo jedan od mnogih bitnih projektnih zahtjeva i očekuje se da će do najboljeg rješenja doći postupno, kompromisom s ostalim projektnim zahtjevima.

¹⁴ Kalinović H., Upravljivost broda

Tijekom projektiranja navedene su mnoge projektne varijable koje imaju direktan utjecaj na upravljivost broda. Kormilo čini jednu od tih projektnih varijabli. Iskustvena pravila prilikom projektiranja kormila su:

- veća površina kormila povećava svojstvo kormilarenja i smanjuje vrijeme odaziva broda
- brži zakret lista kormila povećava brzinu odziva broda
- smještaj kormila izvan mlaza vijka smanjuje efikasnost kormila
- kod brodova s dva vijka treba koristiti dva kormila smještena iza svakog vijka
- potreban zakretni moment, dimenzija osovine i snaga kormilarskog stroja ovise o veličini i tipu kormila, brzini broda i smještaju kormila iza vijka.

5.1. POKUSI ZA OCJENU UPRAVLJIVOSTI BRODA

Nekoliko definiranih pokusa upravljivosti brodom postali su „standardni manevri“ za određivanje sposobnosti održavanja kursa i upravljanja brodom. Ti se pokusi nalaze u temelju dokumenta „1975. *International Towing Tank Conference – Manouvering Trial Code*“.

Ispitna brzina broda definirana je kao očekivana brzina za vrijeme plovidbe u područjima gdje je zahtijevana normalna upravljivost, područje nije ograničeno dubinom ili granicama kanala. U slučajevima sporijih brodova punih formi, ta brzina može biti blizu projektne brzine broda, dok kod brzih brodova vitke forme koriste se manji postotak projektne brzine.

Pokusi za ocjenu upravljivosti broda:

- manevar kružnog okreta
- manevar zaustavljanja
- Z – manevar
- manevar izvlačenja iz kruženja („PULL OUT“)
- spiralni manevar.

5.1.1. MANEVAR KRUŽNOG OKRETA

Brod izvodi manevar kružnog okreta u stanju potpuno nakrcanog broda na ravnoj kobilici i u stanju balasta. Koristi se maksimalan kut otklona kormila u desno i lijevo, bez promjene režima rada stroja kod navedenih brzina:

- svom snagom naprijed (full ahead)
- pola snage naprijed (half ahead)
- polagano naprijed (slow ahead).

Manevar kružnog okreta sačinjen je od 12 pokusa. Glavna svrha ovog pokusa je da se odredi taktički promjer, napredovanje broda, konačna brzina i kutna brzina kruženja broda. Brod se dovodi u željeni kurs konstantnom brzinom, prema zadanim početnim uvjetima te se snimaju podatci. Manevar započinje otklonom kormila te je on konstantan tijekom cijelog okreta. Okret se izvodi dok brod ne promjeni kurs za 540°.

Prilikom svakog manevra kružnog okretanja grafički se bilježi putanja težišta broda i kurs broda u intervalima te se zatim izrađuje dijagram promjene kursa, brzine broda, brzine vrtnje propelera i kutne brzine broda za vrijeme zakretanja.

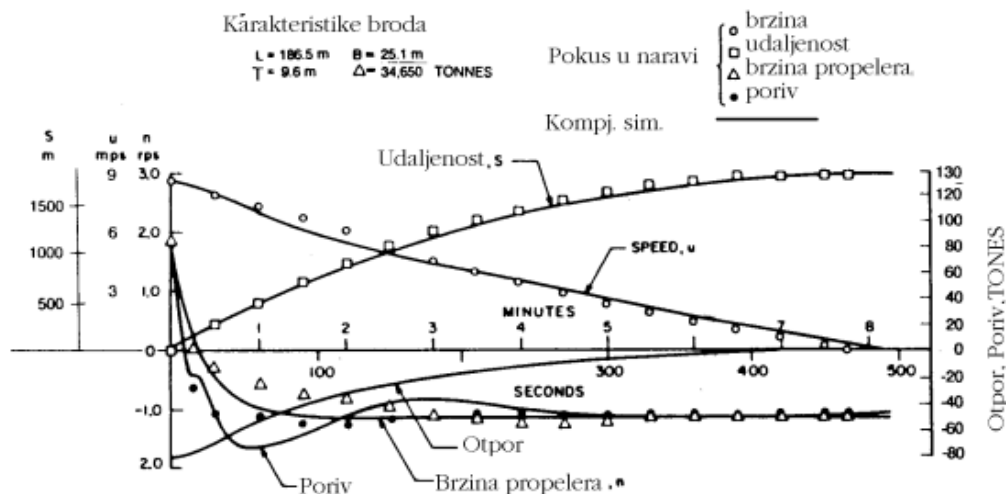
5.1.2. MANEVAR ZAUSTAVLJANJA

Brod izvodi manevar zaustavljanja u stanju potpuno nakrcanog broda na ravnoj kobilici i u stanju balasta, početnom punom brzinom naprijed i prekretnjem na:

- svom snagom natrag (full astern)
- pola snage natrag (half astern)
- polagano natrag (slow astern)
- po inerciji.

Manevar zaustavljanja sačinjen je od 8 pokusa. Brod se dovodi u željeni kurs konstantnom brzinom prema zadanim početnim uvjetima. Pokus započinje izdavanjem „STOP“ naredbe što znači da bi brod u što kraćem vremenu trebao postići punu snagu vožnje krmom, koliko to dozvoljavaju stroj i brod. Kormilo se koristi samo ako postoji potreba da se brod održi u željenom kursu. Pokus se odvija dok brod ne poprimi brzinu vožnje krmom od 0,25 m/s.

Za svaki pokus bilježi se grafički putanja broda i kurs u određenim intervalima vremena te se izrađuju dijagrami koji pokazuju brzinu vrtnje vijka i prijedenu udaljenost u odnosu na vrijeme. Podaci svih pokusa bilježe se u tablice i dijagrame koji prikazuju duljinu zaustavljanja i potrebno vrijeme.



Slika 16 Manevar zaustavljanja

Izvor: https://student.fsb.hr/upravljivost-broda/download/upravljivost_broda.pdf

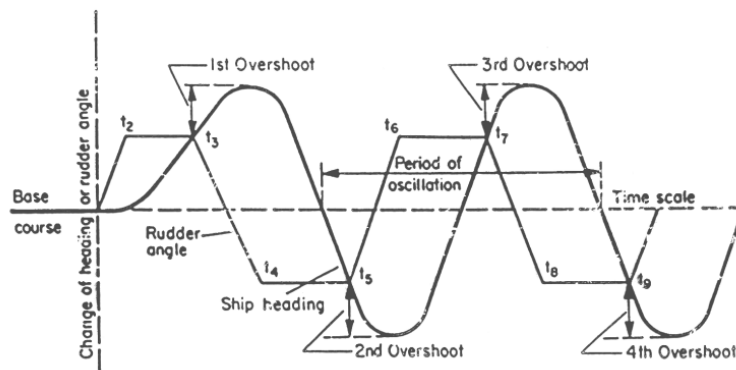
5.1.3. Z-MANEVAR (ZIG-ZAG MANEVAR, Z-TEST) – sposobnost upravljivosti

Brod izvodi z-manevar u stanju potpuno nakrcanog broda na ravnoj kobilici i u stanju balasta punom snagom naprijed (2 pokusa ukupno). Preporučeno je ovaj pokus izvesti jednom s pola snage naprijed.

Standardni tipovi Z – manevra su Z manevra $10^{\circ}/10^{\circ}$ i Z manevra $20^{\circ}/20^{\circ}$ (otklon kormila = $10^{\circ}/20^{\circ}$ i promjena kursa = $10^{\circ}/20^{\circ}$). U većini slučajeva preporuča se Z manevra $10^{\circ}/10^{\circ}$ jer daje bolje razlikovanje između pojedinih svojstava upravljivosti, ali radi usporedbe s podacima ranijih ispitivanja provodi se i Z manevra $20^{\circ}/20^{\circ}$.

Brod se kreće konstantom brzinom u željenom kursu s vjetrom u pramac (ako ga ima). Režim rada stroja je konstantan za vrijeme cijelog manevra te manevra započinje otklonom kormila 10° udesno, a nakon promjene kursa za 10° , kormilo se zakreće za 10° ulijevo. Manevar se ponavlja sve dok brod ne presječe početni kurs 5 puta, te se time završava snimanje podataka i pokus je završen. Glavni podatci koji se dobivaju iz Z – manevra su vrijeme početnog okreta do drugog izvršenja, vrijeme prekida kruženja i premašaj kursa.

Za svaki manevar se radi krivulja putanje broda. Sustavno težište broda i kurs bilježe se na dijagramu u vremenskim intervalima te svaki manevar ima svoj dijagram s otklonom kormila i kursom broda, zajedno s promjenom kursa, brzinom broda i brzinom vrtnje vijka.



Slika 17 Zig-zag manevar – sposobnost upravljivosti

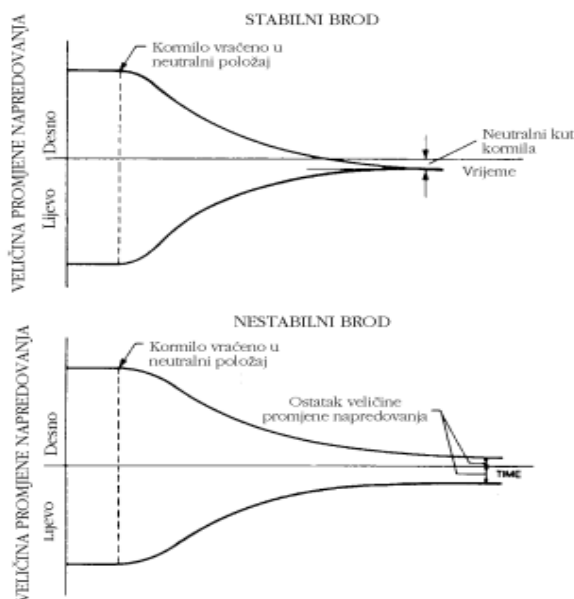
Izvor: Mohović, R.: Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijali

5.1.4. MANEVAR IZVLAČENJA („PULL OUT“) – stabilnost zadržavanja kursa

Brod izvodi manevar izvlačenja iz kruženja u stanju potpuno nakrcanog broda na ravnoj kobilici i u stanju balasta punom snagom naprijed. Manevar se sastoji od dvije vožnje: jedna vožnja na desnu stranu i druga vožnja na lijevu stranu.

Brod se kreće konstantnom brzinom u željenom kursu. Pokus počinje otklonom kormila za $15^\circ - 35^\circ$, sve dok kružno gibanje broda ne poprimi stabilno gibanje te se nakon toga kormilo vraća u središnji položaj. Pokus izvlačenja broda iz kruženja daje uvid u dinamičku stabilnost broda u kursu. Ako je brod stabilan, kutna brzina kruženja broda vratiti će se na nulu, za oba pokusa izvedena na desnu ili lijevu stranu. Ako je brod nestabilan, kutna brzina kruženja broda zadržat će neku vrijednost.

Za svaki manevar koji je sastavljen od dvije vožnje daju se odgovarajući podaci. Prikaz rezultata pokusa sastoji se od dijagrama promjene kursa u vremenskom intervalu, dijagrama brzine broda i brzine vrtnje vijka kao funkcije vremena za obje vožnje uz tablični prikaz za početno stabilno stanje broda i konačno stabilno stanje, uključujući i promjenu kursa.



Slika 18 Manevar izvlačenja („PULL-OUT“) – stabilnost zadržavanja kursa

Izvor: Mohović, R.: Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijali

5.1.5. SPIRALNI MANEVAR – sposobnost zadržavanja kursa i upravljivost

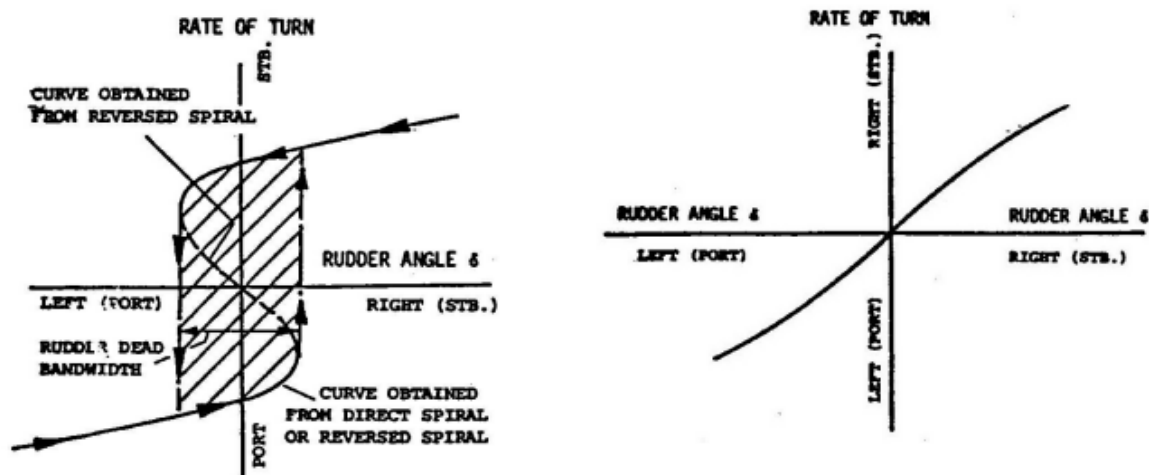
Brod izvodi spiralni manevar u stanju potpuno nakrcanog broda na ravnoj kobilici i u stanju balasta, s punom snagom naprijed. Ovaj manevar sastoji se od većeg broja uređenih sekvenci kruženja kojima se utvrđuje ovisnost parametara kruženja broda o kutu otklona kormila. Pokus se provodi s ciljem dobivanja dodatnih informacija o dinamički nestabilnim, ili dinamički granično – stabilnim brodovima.

Brod se kreće konstantnom brzinom u željenom kursu. Pokus počinje otklonom kormila za kut od 25° udesno, sve dok se brzina broda i kutna brzina kruženja broda ne ustale u konstantnu vrijednost. Tada se kut kormila smanjuje za 5° i tako drži sve dok se ne postigne konstantna brzina i konstantna kutna brzina kruženja broda (stabilno gibanje). Ovaj postupak promjene kursa se ponavlja sve dok se kutom otklona kormila ne prijeđe područje od 25° udesno, do 25° ulijevo i obrnuto. Za brodove sa stabilnim gibanjem raspon kutova je od 10° udesno do 10° ulijevo s promjenom kuta otklona kormila od 2° (direktni spiralni manevar). Za brodove s nestabilnim gibanjem koristi se kut otklona kormila od 5° koji daje trajektoriji gibanja broda izgled nestabilne petlje te se za takve brodove koristi povratni spiralni manevar.

U povratnom spiralnom manevru brod plovi tako da ima konstantan zakret te se mjeri srednja vrijednost kuta otklona kormila kod kojeg se to gibanje postiže. Ta mala odstupanja

oko srednje vrijednosti kuta otklona kormila često se pojavljuju zbog promjene brzine. Budući da treba proći neko vrijeme dok brzina ne postane konstanta, mjerenje srednjeg kuta otklona kormila započinje kada se postigne konstanta brzina.

Tablični prikaz sadržava kurs i brzinu broda, kutnu brzinu kruženja, te kut zanošenja broda kao funkciju kuta otklona kormila.



Slika 19 Spiralni manevar – sposobnost zadržavanja kursa i upravljivost

Izvor: Mohović, R.: Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijali

5.2. PRIKAZ INFORMACIJA O UPRAVLJIVOSTI NA BRODU

Međunarodna pomorska organizacija (IMO)¹⁵ 1987. godine donosi preporuku o sadržaju i obliku prikaza informacija upravljivosti broda. Prema tim preporukama:

- svaki novi brod koji podliježe zahtjevima SOLAS¹⁶ treba imati „pilot card“ kartu koja sadrži sve osnovne podatke o trenutnom stanju broda koju potpisuje zapovjednik
- svaki novi brod dulji od 100 m te tankeri za prijevoz kemikalija i plinova treba imati: „pilot card“ - peljarsku kartu te „wheelhouse poster“ – poster u kormilarnici.

¹⁵ IMO - International Maritime Organization

¹⁶ SOLAS – Safety Of Lives At Sea

Poster u kormilarnici („wheelhouse poster“) izrađuje se nakon pokusne plovidbe te se stavlja na vidljivo mjesto na zapovjednom mostu. Sadrži detaljne podatke o svojstvima upravljivosti broda. Izgled je standardiziran prema rezoluciji IMO-a A601.

WHEELHOUSE POSTER According to IMO Resolution A.601(15)

Ship's name Call sign Gross tonnage Nett tonnage

Max. displacement tonnes, and Deadweight tonnes, and Block coefficient at summer full load draught

Draught at which the manoeuvring data were obtained

Loaded		Ballast	
Trial / Estimated	Trial / Estimated	m forward	m aft
m forward	m forward	m aft	m aft

PROPULSION PARTICULARS

Type of engine	KW (HP)	Type of propeller
Engine order	rpm/pitch setting	Speed (knots)
Full sea speed		Loaded Ballast
Full ahead		
Half ahead		
Slow ahead		
Dead slow ahead		
Dead slow astern	Critical revolutions rpm	Minimum rpm knots
Slow astern	Time limit at risk revs min	Time limit at risk revs min
Half astern	Full ahead to full astern s	Stop to full astern s
Full astern	Astern power % ahead	Max. no. of consecutive stops

STEERING PARTICULARS

Type of rudder(s) s
Maximum rudder angle s
Time hard-over to hard over with one power unit s
with two power units s
Minimum speed to maintain course propeller stopped knots
Rudder angle for neutral effect °

THRUSTER EFFECT at trial conditions

Thruster	KW (HP)	Time delay to reverse full thrust	Turning rate at zero speed	Time delay to reverse full thrust	Not effective above speed
Bow	()	s	°/min	min s	knots
Stem	()	s	°/min	min s	knots
Combined	()	s	°/min	min s	knots

ANCHOR CHAIN

No. of shackles	Max. rate of heaving (min/shackle)
Port	
Starboard	
Stem	
1 shackle =	m (fathoms)

DRAUGHT INCREASE (LOADED)

Under keel clearance	Ship's speed (knots)	Max bow squat estimated (m)	Heel angle (degree)	Draft increase (m)
m		2		
m		4		
m		8		
m		12		
m		16		

LOADED Water depth/draught ratio = 1.2

Distance (cables) DEEP WATER (Estimated / Trial)

Distance (cables) SHALLOW WATER (Estimated, approximate)

BALLAST

Distance (cables) DEEP WATER (Estimated / Trial)

1 cable = 0.1 nautical mile

LOADED

FULL SEA-AHEAD Comparison of turning (max. rudder) and full astern stopping (rudder amidship)

BALLAST

FULL SEA-AHEAD Comparison of turning (max. rudder) and full astern stopping (rudder amidship)

Prepared by

Date

Slika 20 Poster u kormilarnici („Wheelhouse poster“)

Izvor: Mohović, R.: Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijali

6. ZAKLJUČAK

Kormilo predstavlja ključni element upravljanja brodom, omogućujući precizno usmjeravanje i kontrolu broda tijekom plovidbe. Njegovo djelovanje izravno utječe na manevarske sposobnosti broda, stvarajući ravnotežu između sigurnosti plovidbe i učinkovitosti izvođenja različitih manevara. Izbor vrste kormila ovisi o specifičnoj namjeni broda i uvjetima plovidbe, zbog čega suvremeno brodarstvo nudi širok spektar izvedbi kormila koja su dizajnirana kako bi se unaprijedila funkcionalnost klasičnih sustava.

Klasična pasivna kormila, koja se temelje na djelovanju vodenih strujnica i stvaranju sila samo tijekom kretanja broda, još uvijek su najčešća zbog svoje jednostavnosti i pouzdanosti. Međutim, moderni brodovi sve češće koriste naprednija aktivna kormila, poput azimutske propulzije i rotacijskih sustava, koja omogućavaju kormilarenje čak i dok brod miruje. Ovi sustavi su osobito važni u specifičnim uvjetima, poput operacija u lukama, te kod manevriranja velikim brodovima u ograničenim prostorima. Aktivna kormila pružaju bolju upravljivost pri nižim brzinama, što je ključno za sigurno manevriranje u kritičnim situacijama.

Oblik kormila također igra važnu ulogu u njegovoj učinkovitosti. Strujno kormilo, s kapljičastim presjekom i simetričnim hidro-dinamičkim oblikom, daleko je učinkovitiji od plosnih kormila jer smanjuje otpor prilikom zakretanja. Ova smanjenje otpora omogućuje preciznije i učinkovitije manevre, čime se poboljšavaju ukupne performanse broda. Kormilo se zakreće snagom kormilarskog stroja, što ga čini jednim od najvažnijih dijelova brodskog sustava za upravljanje. Brodovi kojima su potrebne veće manevarske sposobnosti, osobito oni koji plove u složenim uvjetima eksploatacije, koriste napredne kormilarske sustave koji omogućuju veće kutove otklona i brže zakretanje, čime se dodatno povećava učinkovitost i sigurnost broda.

Sila kormila na klasičnom pasivnom kormilu stvara se isključivo tijekom kretanja broda i nastaje uslijed pritjecanja vodenih strujnica na list kormila. Na osnovi Bernoullijeve jednadžbe, razlika u tlaku koja se stvara na površini kormila generira silu uzgona, dok sila otpora djeluje u smjeru pritjecanja strujnica. Kombinacija ovih sila stvara ukupnu silu kormila, koja ovisi o više faktora, uključujući brzinu broda, površinu i oblik kormila, kao i poziciju kormila u odnosu na trup broda. Položaj kormila u odnosu na propulzivne uređaje, poput brodskog vijka, može dodatno povećati njegovu učinkovitost, jer ubrzani protok vode iza vijka pojačava učinak kormila.

Učinkovitost kormila najviše ovisi o brzini broda. Pri većim brzinama, kormilo postaje efikasnije zbog jačeg protoka vode oko njegove površine, što omogućava snažnije stvaranje hidro-dinamičkih sila. S druge strane, pri manjim brzinama, posebno tijekom manevriranja u lukama ili uskim kanalima, pasivna kormila postaju neučinkovita, što predstavlja izazov za upravljivost broda. U tim situacijama aktivni sustavi kormila dolaze do izražaja, jer omogućuju kontrolu nad brodom čak i pri vrlo niskim brzinama ili dok je brod u stanju mirovanja.

Osim tehničkih aspekata samog kormila, manevriranje brodom ovisi i o vanjskim faktorima kao što su vjetar, morske struje i valovi, ali i o unutarnjim čimbenicima kao što su trim, opterećenje i stabilitet broda. Na primjer, brodovi s plitkim gazom mogu biti teže upravljivi u uvjetima jakog vjetra, dok brodovi s većim gazom imaju bolju hidro-dinamičku stabilnost, ali trpe veći otpor, što može utjecati na brzinu plovidbe.

Postizanje optimalne ravnoteže između veličine kormila i njegovog učinka ključno je za učinkovito upravljanje brodom. Veće kormilo generira veću poprečnu silu koja omogućuje brže manevre, ali također povećava uzdužni otpor, što može smanjiti brzinu broda. Ova ravnoteža mora biti pažljivo usklađena s karakteristikama broda, uključujući njegovu masu, oblik trupa i namjenu.

U konačnici, učinkovito djelovanje kormila i razumijevanje njegovih komponenata ključni su za sigurno i precizno upravljanje brodom, posebno u uvjetima gdje je preciznost manevriranja od vitalne važnosti, kao što su operacije u lukama, uskim kanalima ili blizini drugih plovila. Kormilo nije samo alat za promjenu smjera, već aktivna komponenta koja djeluje u sinergiji s ostatkom broskog sustava, uključujući trup, vijak i hidro-dinamičke čimbenike. Dobro osmišljen sustav upravljanja brodom omogućuje smanjenje rizika od nesreća, poboljšava sigurnost plovidbe i optimizira performanse broda u različitim uvjetima na moru.

LITERATURA

- 1) Radulić R., Manevriranje brodom, Profil International, Zagreb, 2001.
- 2) Buljan I., Manevriranje brodom, Školska knjiga, Zagreb, 1982.
- 3) Martinović D., Brodski pomoćni strojevi i uređaji
- 4) Topić M., Kormilarski uređaji, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2012.
- 5) Bašić I., Sile na kormilu, Pomorski fakultet u Zadru, Zadar, 2011.
- 6) Mohović R., Tehnika rukovanja brodom, nastavni materijali
- 7) Armstrong M., Teorija rukovanja brodom, Son & Ferguson, Glasgow 2019.
- 8) House D.J., Rukovanje brodom, Amsterdam, Elsevier, 2007.
- 9) Tehnička enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1978.
- 10) Pomorska enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1978.
- 11) Kalinovčić H., Upravlјivost broda, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2004.
- 12) <https://gorgonija.com/2020/04/19/sve-o-kormilu-2/>
- 13) https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/brod_8_kormilarenje.pdf
- 14) https://student.fsb.hr/upravljivost-broda/old_UB/ub2.3..htm

POPIS SLIKA

Slika 1 Smještaj kormila na krmi broda	4
Slika 2 Plosno i strujno kormilo	5
Slika 3 Podjela kormila prema načinu pričvršćenja za brod	5
Slika 4 Podjela kormila na nebalansna, polubalansna i balansna kormila.....	6
Slika 5 Dijelovi balansnog kormila	7
Slika 6 Prikaz sustava upravljanja električnog kormilarskog stroja	9
Slika 7 Hidraulični kormilarski stroj	10
Slika 8 Hidro-dinamička sila na kormilu	14
Slika 9 Djelovanje sile kormila	15
Slika 10 Elementi trajektorije okretanja broda.....	17
Slika 11 Djelovanje sila za vrijeme prve faze zakretanja broda	18
Slika 12 Djelovanje sila za vrijeme druge faze zakretanja broda	19
Slika 13 Trajektorija zakretanja broda predočena u tri faze	19
Slika 14 Nagibanje broda za vrijeme prve i druge faze zakretanja broda	21
Slika 15 Vijak sa zakretnim krilima (stvaranje turbulencije).....	23
Slika 16 Manevar zaustavljanja	27
Slika 17 Zig-zag manevar – sposobnost upravljivosti	28
Slika 18 Manevar izvlačenja („PULL-OUT“) – stabilnost zadržavanja kursa	29
Slika 19 Spiralni manevar – sposobnost zadržavanja kursa i upravljivost	30
Slika 20 Poster u kormilarnici („Wheelhouse poster“).....	31

POPIS TABLICA

Tablica 1 Površina kormila u odnosu na umnožak duljine i gaza broda	11
Tablica 2 Omjer uronjenog dijela i duljine broda	20