

## MOŽE LI TOČKA OKRETIŠTA BITI DALEKO IZVAN BRODA?

### *Can the Pivot Point be Far Away from the Ship?*

UDK 372.865.661

Stručni članak  
Professional paper

#### Sažetak

U ovom su radu prikazane i protumačene promjene položaja točke okretišta broda.

Analizom odnosa gradijenta skretanja i zanošenja dolazimo do pravila kad je točka okretišta unutar, a kad je izvan broda – po pramcu ili po krmu, te na kojoj je udaljenosti od neke točke na brodu.

Grafički je prikazana promjena položaja točke okretišta pri rotiranju u kretanju naprijed i u kretanju krmom, te kako i bez vanjskog utjecaja (vjetra i/ili struje) točka okretišta "bježi" ispred broda - beskonačno daleko.

Ponuđena su i neka praktična razmatranja ovoga problema, kao primjerice kad se unatoč kretanju krmom okretište može naći ispred brodsoga pramca.

Pravilna procjena položaja točke okretišta i radijusa putanje značajna je za uspješno izvođenje manevra, osobito u prostoru ograničenom akvatoriju. Zato ovaj članak ima i svoju praktičnu vrijednost jer bi zapovjedniku ili peljaru trebao omogućiti bolje snalaženje u praksi, a posebno pri maloj brzini i velikom zanošenju.

Ključne riječi: točka okretišta broda, gradijent skretanja, poprečna brzina i radijus zakrivljenosti putanje broda.

#### Summary

The paper analyses the position changes of pivot point.

By analysing the relationship between rate of turn and drift, we may apply a rule when the pivot point is in and when it is out of the ship – forward or aft and how far it is from some point aboardship.

It is graphically presented the position change of pivot point when rotating in making headway and sternway and how without pivot point "runs away" ahead – infinitely far even without external effect (wind and/or current).

Some practical analyses of this problem have been provided, for example; when the pivot point can be found forward of the ship's stem in spite of moving astern.

Correct estimation of position of pivot point and radius of ship's path is significant for succesful manoeuvring, especially in space limited aquatorium. That's why this paper has its own practical value because it should enable the master or Pilot better managing in practice, especially at low speed and big drift.

Key words: pivot point, rate of turn, transverse speed, radius of curvature of ship's path.

#### 1. Uvod

##### Introduction

Za uspješno izvođenje potrebnoga manevra u skučenom akvatoriju, često je potrebno mnogo vještine, iskustva i znanja. Manevriranje je vještina koja se, kao i svaka druga, usavršava radom, pa je za uspješno manevriranje brodom potrebno *iskustvo*.

Dobar osjećaj za prostor i gibanje, ali i samopouzdanje "handlera" (zapovjednika, časnika ili peljara), koje nije lažno, već je na znanju utemeljeno, uvelike pridonosi pravilnom izboru potrebnoga manevra, i uspješnom izvođenju poduzetog manevra.

Ipak, i vještina i dobar osjećaj za prostor i gibanje mogu biti nedostatni ako "handler" nema potrebnog znanja te npr. u skučenom prostoru pogrešno ocijeni položaj točke okretišta, ili pogrešno procijeni potreban prostor za izvođenje manevra puna okreta. "Handler" mora znati kako se promjer kruga okreta u plitkoj vodi može više nego udvostručiti, ili kako se krug okreta može

\* mr. sc. Mladen Russo, kap. d. pl., prvi pilot u luci Split

znatno deformirati i izdužiti pod utjecajem vjetera (okomito na vjetar) ili pod utjecajem struje (u smjeru struje).

Dobar "handler", u svakom trenutku, mora znati *pravilno procijeniti položaj točke okretišta*. Mnogo udara i nasukanja dogodilo se baš zbog nepoznavanja položaja ili zanemarivanja promjene položaja točke okretišta pri manevriranju u ograničenom prostoru. Zato ćemo detaljno razmotriti promjene položaja ove točke tijekom manevriranja.

## 2. Položaj točke okretišta

### Position of the Pivot Point

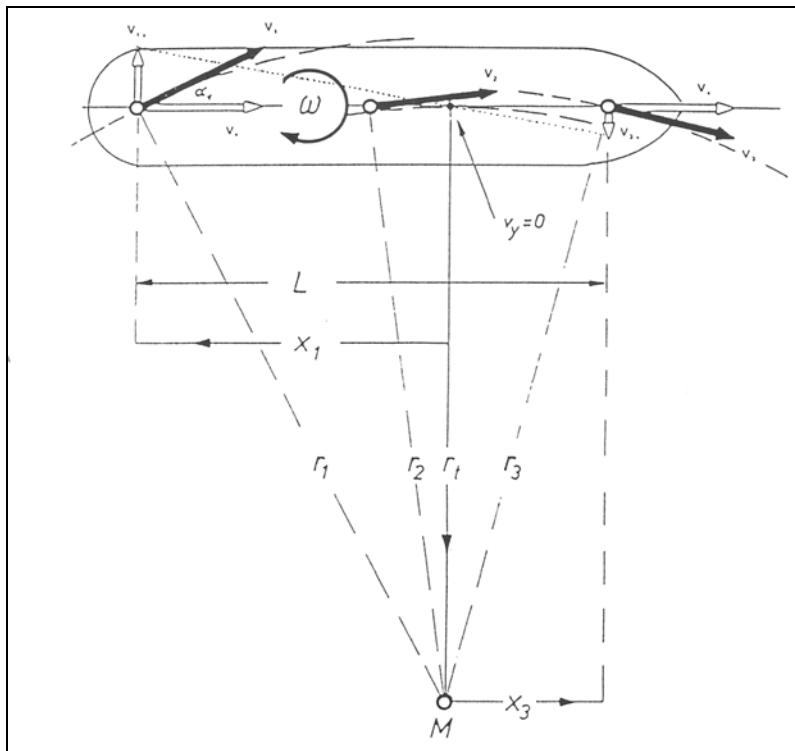
Brod koji bi se na mirnoj vodi, bez utjecaja vjetera i struje, idealno okretao *u mjestu*, rotirao bi *oko svoje vertikalne osi* (osi z), *koja bi*, kad ne bi bilo otpora u vodi, ili ako bi taj otpor bio jednako raspoređen prema osi vrtnje, *prolazila sustavnim težištem broda* (G). Takvu rotaciju (os vrtnje na sredini broda), tj. samo približno takvu rotaciju (ponajviše zbog nejednake forme pramca i krme), mogao bi ostvariti brod na ravnoj kobilici koji bi, jednakom silom i na jednakoj udaljenosti od težišta, sa suprotnih strana, „boksali“ tegljači, ili koji bi rotirao koristeći se stalno jednakim okretnim momentima pramčanog i krmenog potiskivača (tako da umnožak sile i kraka (od G) bude uvijek jednak).

No, ako bi se *zaustavljeni brod* okretao djelovanjem *samo jednoga okretnog momenta*, primjerice samo uz pomoć pramčanoga tegljača ili samo pramčanoga potiskivača, opazili bismo kako *os rotacije* nije više na sredini broda, već, osobito ako je brod još i zatežan, znatno *bliže krmi*.

Dakle, *na zaustavljenom brodu točka okretišta* (točka kojom prolazi os vrtnje) *uvijek se nalazi na kraju suprotnomu hvatištu sile koja okreće brod* (sila na pramcu – okretište bliže krmi, i obratno).

Međutim na brodu koji se istodobno i *kreće* (u smjeru osi x) i *rotira* (oko osi z), *točka će se okretišta pomicati ovisno o smjeru gibanja* (naprijed ili krmom), a položaj točke okretišta uzduž osi x ovisi o *veličini poprečne komponente obodne brzine* (u smjeru osi y) u odnosu na *gradijent okretanja*  $\omega$ . Kada ta komponenta ne mijenja smjer cijelom dužinom broda, okretište će se naći *izvan broda*, a udaljenost do okretišta može imati sve vrijednosti od plus (po pramcu) do minus beskonačno (po krmi).

Slika 1. prikazuje kako poprečna komponenta obodne brzine (brzina zanošenja) varira veličinom i smjerom (od  $v_{1y}$  na krmi s negativnim predznakom, do  $v_{3y}$  na pramcu, s pozitivnim predznakom). Brzina zanošenja  $v_y$  u funkciji je udaljenosti od osi vrtnje, a *trend promjene* te veličine po osi x (uzduž broda) prikazan je *točkastom crtom* (koja spaja vrhove vektora  $v_{1y}$  i  $v_{3y}$ ).



Slika 1. Brod u desnom okretu. Točka je okretišta u prednjem dijelu broda.  
Figure 1. Ship's starboard turn. Pivot point is forward.

Točkom u kojoj ta točkasta crta siječe uzdužnicu, prolazi os vrtnje. Zato tu točku i zovemo **okretište broda** (engl. *pivot point*, tal. *punto giratorio*). U okolišu presjecišta, tj. točke okretišta, vektor poprečne brzine mijenja smjer (predznak), a u samom okretištu poprečne komponente nema ( $v_y = 0$ ) jer vektor obodne brzine djeluje u smjeru uzdužnice (osi x), tako da je i kut zanošenja u toj točki jednak nuli. Zato će središte zakrivljenosti putanje biti na okomici podignutoj u točki okretišta, a veličina radijusa kružne putanje određena je relacijom  $r = v_x/\omega$ .

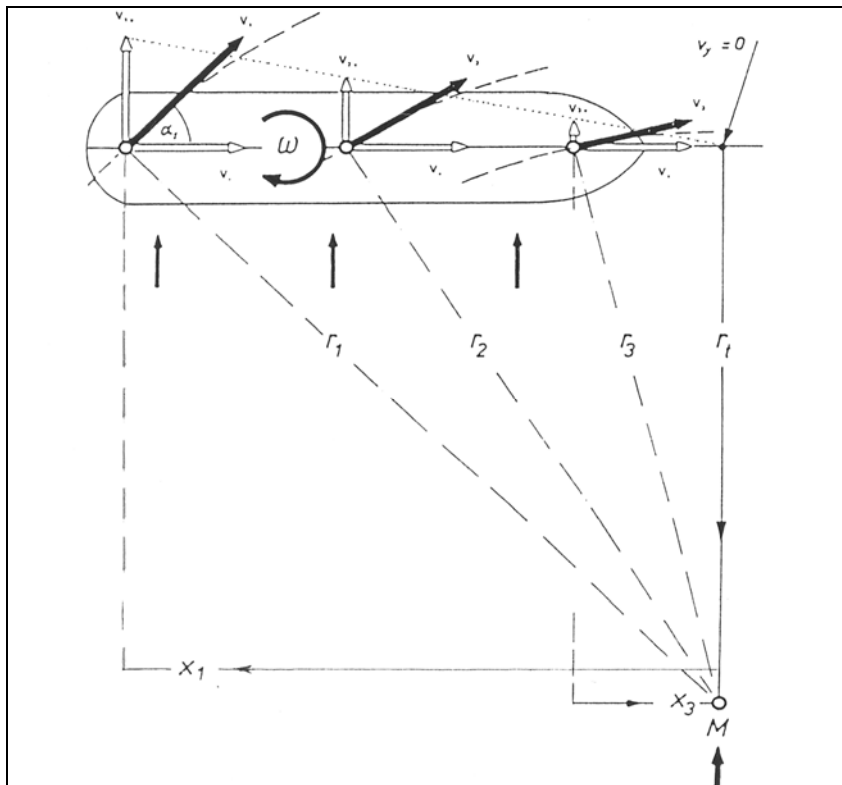
Kako je vektor poprečne brzine okomit na uzdužnicu, to će središte zakrivljenosti putanje te točke (npr. točke 1, na krmu), kojoj je taj vektor tangenta, biti zapravo točka okretišta broda. Ona se nalazi na uzdužnici ili u njezinu produžetku, na udaljenosti (x) određenoj istom relacijom, tj.  $x = v_x/\omega$  (v. sl. 1.).

Napomena: Veličinu  $v_y$  možemo očitati na doppler-indikatoru. Vrijednost gradijenta skretanja  $\omega$  očitava se na RoT-indikatoru (ili se može izračunati iz vrijednosti promjene kursa u jedinici vremena). Na brodu koji ima doppler-uređaj, gradijent skretanja mogao bi se i izračunati kao  $\omega = \Delta v_y/L$  (L je udaljenost između senzora).

Analogno tomu, kao što se pri gibanju naprijed okretište broda obično nalazi na prednjoj trećini dužine broda, tako, ako se brod pri kretanju krmom ujedno i okreće (npr. radom pramčanog potiskivača), okretište, dakle točka bez poprečnoga gibanja, mora se naći bliže krmu. Ipak, pogrešan bi bio zaključak da će pri gibanju naprijed okretište uvijek biti na prednjem dijelu broda, a pri gibanju krmom uvijek na krmenom dijelu broda. Naime, ako se brod pri gibanju krmom okreće samo zbog izboja vijka, okretište se, na početku gibanja krmom, može naći i na prednjoj polovici broda, ali čak i ispred broda. To se događa kada brod s nakratko oborenim sidrom vuče tegljač po krmu.

Na položaj okretišta utječe trend promjene poprečne komponente obodne brzine po dužini broda. Ako ta komponenta ne mijenja smjer (predznak) po čitavoj dužini broda, točka okretišta je izvan broda. To se redovito događa kad manji gradijent skretanja  $\omega$  prati veće zanošenje zbog struje i/ili vjetra.

Slika 2. prikazuje kako se okretište može naći daleko ispred broda kad pri kretanju naprijed struja zanosu brod suprotno smjeru okretanja (struja zanosu ulijevo, a brod se okreće udesno). Okretište se tad nalazi ispred pramca, pa će brod, unatoč okretanju udesno, biti zanošen ulijevo čitavom svojom dužinom (v. sliku).



Slika 2. Brod u desnom okretu izložen djelovanju morske struje. Točka je okretišta ispred broda.

Figure 2. Ship's starboard turn presented to the sea current. Pivot point is forward of the ship.

Položaj okretišta ovisi o odnosu zanošenja i rotiranja, pa se tako i *pri gibanju naprijed okretište može naći blizu krme, ili čak po krmu*, ako bi se pri velikomu bočnom zanošenju brod polako okretao u smjeru zanošenja (pramcem niz struju).

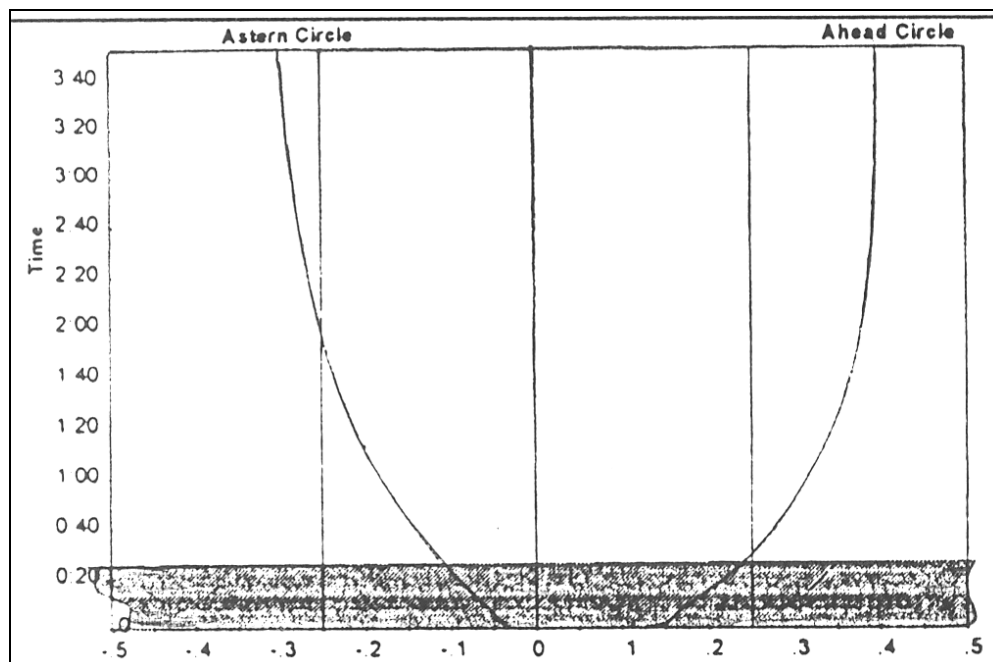
Međutim, ako se brod okreće izložen bočnom vjetru, tako da skreće u vjetar, gradijent se skretanja zbog učinka vjetera povećava, pa će okretište biti u prednjem dijelu broda, ali bliže sredini. No, kad se isti brod okreće niz vjetar, gradijent će se skretanja znatno smanjiti, a okretište će se pomaknuti prema pramcu.

Ali, mnogo važnije od promjene položaja okretišta jest promjena *radijusa zakrivljenosti putanje* koja se događa pod utjecajem vjetera ili struje. Poznato je da svaki brod (nadasve onaj s velikim nadgrađem na krmu), izložen utjecaju bočnog vjetera, ima tendenciju skretanja pramcem u vjetar ("orcavanje"), što je razumljivo jer veće površine iza okretišta ubrzavaju okretanje, potiskujući krmu niz vjetar. U toj fazi okreta gradijent skretanja raste, a radijus zakrivljenosti i brzina se smanjuju ( $r = v/\omega$ ). No, kad tijekom punog okreta brod dobije vjetar s druge strane, te se počne okretati pramcem niz vjetar, tada će se smanjiti gradijent skretanja, što znači da će se povećati brzina i radijus putanje, pa će se zato *krug okreta izdužiti okomito na smjer vjetera*.

Kad se brod okreće niz struju, čim se bok izloži djelovanju struje, povećat će se obodna brzina, što znači da će se i radijus zakrivljenosti povećati, *izdužujući krug okreta u smjeru djelovanja struje*.

Na slikama 1. i 2. točkom *M* označeno je središte kruga okreta. Ono se uvijek nalazi *na okomici* podignutoj na uzdužnicu broda *kroz točku okretišta*. Dakle, položaj točke okretišta izvan broda uvijek prati i veliki radijus zakrivljenosti jer okretište "bježi" izvan broda samo ako se smanji gradijent okretanja ili poveća zanošenje, tj. kad se smanji razlika veličine poprečnih vektora uzduž broda. Kad se njihova vrijednost izjednačava, okretište "bježi" u beskonačnost. Tad bi točkasta crta koja povezuje vrhove vektora poprečnih brzina (na krmu i na pramcu), postala paralelna s uzdužnicom broda. Inače, kada ta crta ima padajući trend prema pramcu, okretište je ispred broda, i obratno: ako trend pada prema krmu, znači da je okretište negdje po krmu. Što je trend pada blaži, okretište je sve dalje. Ta se udaljenost prilično točno može odrediti ako na *dolog*-pokazivaču očitamo vrijednost  $v_y$  (položaj senzora duž broda je poznat) pa iz poznatog obrasca  $x = v_y/\omega$  dobivamo udaljenost  $x$  točke okretišta od *dolog*-senzora.

Danas se temeljem kompjutorskih programa, kakav je i BCP-ov *Mathman manoeuvring simulation program*, mogu vjerno grafički predočiti svi elementi značajni za manevriranje, pa i njihove promjene, tijekom testova koji se poduzimaju na pokusnoj plovidbi.

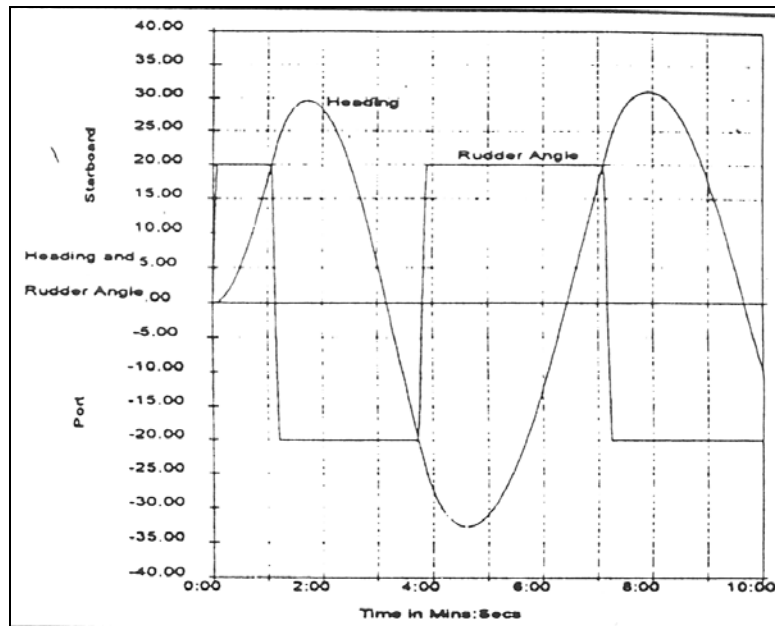


Slika 3. Položaj točke okretišta pri punom okretu, naprijed i krmom  
Figure 3. Pivot point position at full turn, ahead and astern

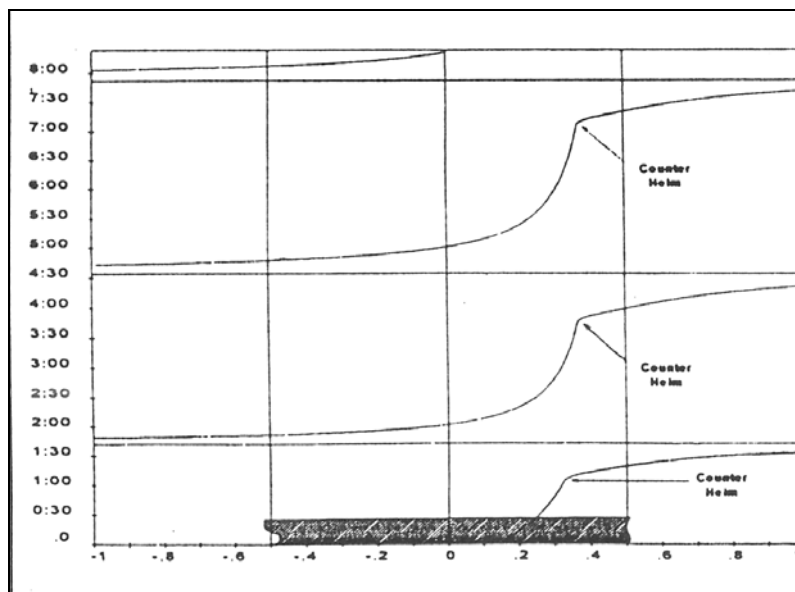
Tako slika 3. prikazuje promjenu položaja točke okretišta velikog tankera punih oblika. Dok se brod kreće u istom kursu i bez poprečnih pomaka, nema ni kuta zanošenja niti točke okretišta. No, čim se počne okretati, pojavljuje se i točka okretišta, i naglo se pomiče prema pramcu, a kad putanja dobije kružni oblik, stabilizira se i položaj točke okretišta. Krug okreta pri vožnji krmom izveden je s pomoću pramčanoga potiskivača, pa ista slika prikazuje i kretanje točke okretišta pri vožnji krmom.

Na slici 4.a prikazan je 20/20 cik-cak (Kempfov) manevar (Z-test). Kormilo je najprije postavljeno 20° desno i u tom je položaju zadržano dok brod nije promijenio kurs za istu kutnu vrijednost, tj. za 20° udesno. U tom trenutku kormilo se prebacuje na 20° lijevo i drži dok se kurs broda ne promijeni za 20° lijevo od početnoga kursa, i taj se postupak barem još jedanput ponovi.

Slika 4.b prikazuje promjenu položaja točke okretišta tijekom ovoga manevra (tzv. Z-testa). Brod se giba naprijed, pa čim se počne okretati, točka se okretišta pomiče prema pramcu. Nakon prebacivanja kormila, zbog okretnoga zamaha (umnožak momenta tromosti i gradijenta skretanja, tj.  $I\omega$ ) brod se nastavlja okretati za kutnu vrijednost prvog premašaja, a djelovanjem centrifugalne sile (s hvatištem u G) i zanositi. No, zbog djelovanja sile kormila u suprotnu stranu, gradijent se skretanja naglo smanjuje, pa točka okretišta "bježi" ispred pramca jer se brod čitavom dužinom zanositi, a okretanje prestaje.



Slika 4.a 20/20 cik-cak test  
Figure 4.a 20/20 zig-zag test



Slika 4.b Položaj točke okretišta tijekom cik-cak testa  
Figure 4.b. Pivot point position during zig-zag test

Okretni se zamah poništava prije nego što zanošenje prestane, što znači da je prije prestanka okretanja okretište već gotovo beskonačno daleko ( $+\infty$ ). Nastavljanjem rotiranja točka se okretišta vraća (iz  $-\infty$ ), prolazeći kroz sustavno težište, do svoga "tipičnog" položaja pri gibanju naprijed, tj. na približno 20 do 30 %  $L$  od pramca (ako brod pri okretu nije bio izložen zanošenju zbog djelovanja struje i/ili vjetera). Nagli "bijeg" točke okretišta ponavlja se pri svakomu sljedećem prebacivanju kormila tijekom Z-testa, što slika 4.b i prikazuje.

Radi boljeg razumijevanja tih naglih promjena položaja točke okretišta, možemo se poslužiti još jednim primjerom. Kad se tijekom manevriranja brod zaustavi u visini mjesta priveza, pa se „boksanjem“ s dva tegljača nastoji paralelno približavati obali, male, neznatne promjene kursa, i uz savršenu usklađenost „boksanja“, ipak će se događati, ali zbog relativno male vrijednosti gradijenta skretanja u odnosu prema bočnoj brzini (nastalu potiskivanjem tegljača) može se reći da će se okretište, tj. točka (na produljenoj uzdužnici) gdje je  $v_y = 0$ , nalaziti čas po pramcu, čas po krmi – beskonačno daleko.

### 3. Neka praktična razmatranja

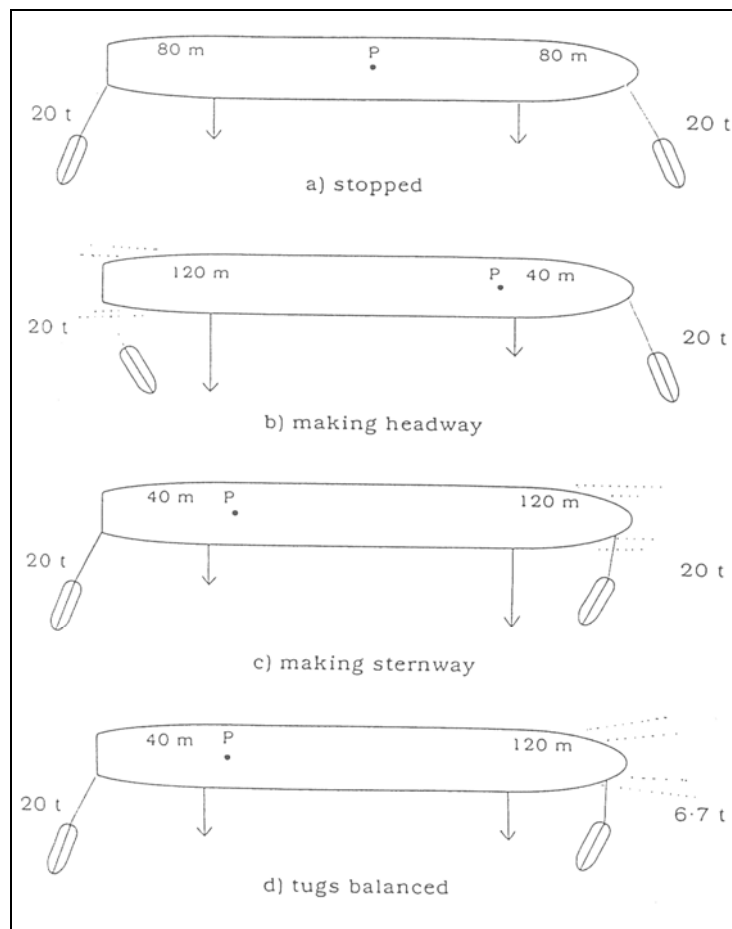
#### Some Practical Considerations

Koliko je za sigurnost manevra bitno poznavati položaj točke okretišta u skućenom lučkom akvatoriju, ne treba posebno obrazlagati.

Potrebno je stalno pratiti odnos uzdužne i poprečne brzine, krajnjih točaka na brodu (krme u gibanju naprijed, pramca pri gibanju krmom). Zato se punim otklonom visokoučinkovitog kormila, osobito pri gibanju naprijed, treba vrlo oprezno koristiti, i što češće treba pogledom pratiti suprotni kraj broda.

Poznavanje položaja točke okretišta pomaže "handleru" u pravilnom korištenju pramčanim ili krmenim potiskivačem. Poznato je da će pramčani potiskivač pri gibanju krmom biti učinkovitiji nego ako se, istom silom i pri istoj brzini, on upotrijebi pri gibanju naprijed (jer zbog većeg kraka ista sila daje veći okretni moment).

I za pravilnu uporabu lučkih tegljača također je važno poznavati položaj točke okretišta. Slika 5. pod a) pokazuje kako zaustavljeni brod, na ravnoj kobilici, dok tegljači vuku istom silom, ostvaruje paralelni pomak (jer oba djeluju i na istom kraku). Na istoj slici pod b) i c), iako tegljači vuku istom silom, pojavljuje se okretni moment



Slika 5. Okretni momenti tegljača ovisno o položaju točke okretišta  
Figure 5. Turning moments of the tug depending on the pivot point position

zbog nejednakih krakova, a crtež pod d) prikazuje kako bi pri laganom gibanju krmom pramčani tegljač morao svoju vučnu silu smanjiti na jednu trećinu da bi brod zadržao paralelno gibanje (jer pramčani tegljač djeluje na trostruko većem kraku).

Pri radu s tegljačima potrebno je napomenuti kako točka okretišta pri gibanju krmom ne mora uvijek biti locirana blizu krme. Kad se *brod* vučom krmenog tegljača kreće *unatrag*, te se radi stabilnosti kursa koristi nakratko oborenim sidrom po pramcu, treba imati na umu da se okretište tad *pomiče prema pramcu*, a ako se brzina broda smanji, u trenutku kad sidro "zadržava", okretište se *pomiče ispred pramca* i sasvim će se približiti oborenom sidru. Zato, ako je potrebno izvršiti okret, tad prije početka okreta treba obvezno uvitlati oboreno sidro. I još nešto. Ako je sidro bilo oboreno zbog bočnog vjetra, pri okretu treba iskoristiti vjetar, što znači okret izvršiti krmom u vjetar, jer se krmom niz vjetar brod više zanosi nego okreće. Isto tako, i u gibanju naprijed brod se *pri maloj brzini otežano okreće pramcem niz vjetar*.

Svaki "bijeg" okretišta po pramcu ili po krmi prati i smanjenje gradijenta skretanja, tj. *povećanje radijusa zakrivljenosti putanje*. To treba imati na umu ako je u ograničenom prostoru potrebno ostvariti veću promjenu kursa. S velikim poteškoćama mogu se suočiti brodovi velikih bočnih površina ako pri maloj brzini moraju skrenuti pramcem niz vjetar. Ako nakon snažnoga vijčanog mlaza s kormilom "na bandu" brod lijeno skreće niz vjetar, treba odmah zaustaviti i prekrenuti stroj, jer ako već brod otežano skreće niz vjetar, sigurno je da će, ubrzo nakon što se počne gibati krmom, vrlo spremno skrenuti krmom u vjetar.

#### 4. Zaključak

##### Conclusion

Ako se zaustavljeni brod okreće djelovanjem dvaju okretnih momenata (primjerice dvaju tegljača), tada će točka okretišta biti približno na njegovoj sredini.

Ako bismo taj isti zaustavljeni brod okretali samo djelovanjem jednog tegljača, tad bi se točka okretišta pomaknula prema suprotnom kraju broda.

Ali u gibanju naprijed, ako nije izložen zanošenju zbog djelovanja vjetra i/ili struje, svaki se brod okreće oko točke koja se obično nalazi na prednjoj trećini duljine broda. Pri gibanju krmom je obratno.

Razmatrajući samo rotiranje (odvojeno od uzdužnoga gibanja), tad *poprečna komponenta* obodne brzine, u bilo kojoj točki na brodu, određuje veličinu poprečnoga gibanja te točke, pa je ista tangenta na putanju kojom se ta točka giba pri rotiranju, a središte zakrivljenosti, tj. točka okretišta, mora biti na uzdužnici (ili u njenom produžetku, po pramcu ili po krmi) na udaljenosti  $x = v_y / \omega$ .

Ako poprečna komponenta ne mijenja predznak uzduž čitave dužine broda, okretište je izvan broda. Ako ta komponenta ima padajući trend prema pramcu, okretište je u prednjem dijelu broda (ili ispred broda), i obratno.

Koliko će točka okretišta biti udaljena od sredine broda, ovisi o odnosu zanošenja i rotiranja.

Kao što smjer i veličina vektora obodne brzine  $v_n$  i njegova poprečna komponenta  $v_y$  koreliraju, tako i udaljenost do točke okretišta  $x$  i radijus putanje  $r$  po kojoj se brod okrećući se giba, također koreliraju, pa je  $x = v_y / \omega$ , a  $r = v_n / \omega$ .

Smanjenjem uzdužne, ili zbog povećanja poprečne brzine, povećava se kut  $\alpha$  (v. sl. 1. ili 2.), pa se uz isti gradijent skretanja povećava udaljenost do točke okretišta i veličina radijusa putanje.

Poznavanje tih odnosa nedvojbeno pridonosi boljem razumijevanju ponašanja broda i boljem snalaženju u praksi, osobito pri maloj brzini i velikom zanošenju.

#### Literatura

##### Literature

\* J. C. Colman, Pivot point, Seaways, November 1999, str. 26. i 27.

\* N. Petronzi i A. Vecchia Formisano, *La manovra delle navi*, Torre del Greco, 1984

---

Rukopis primljen: 10.3.2006.