

## KAKO POVEĆATI MANEVRABILNOST DANAŠNJIH BRODOVA HOW TO ENHANCE THE MANOEUVRABILITY OF PRESENT-DAY SHIPS

UDK 629.12.014  
Stručni rad  
Professional paper

### Sažetak

Svaki brod, bez obzira na veličinu, pri maloj brzini postaje veoma osjetljiv na djelovanje struje i vjetra. Osim toga, smanjenjem brzine znatno se smanjuje i sila kormila, a u prometno frekventnim i prostorom ograničenim vodama, dakle u okolnostima koje zahtijevaju veću manevrabilnost, brodovi su primorani ploviti smanjenom brzinom. Stoga, kako povećati manevrabilnost, posebno pri maloj brzini, središnji je problem istraživanja i prakse u području manevriranja brodom.

Tražeci rješenje ovoga problema, zadnjih desetljeća napravljeni su značajni, mogli bismo reći, revolucionarni pomaci.

Autor sažeto i kritički iznosi najpoznatija rješenja s posebnim osvrtom na Schilling kormilo i azipod uređaj, nagrađene inovacije za 1995. godinu. Uspoređujući potrebnu razinu manevrabilnosti koju diktira namjena broda, i mogućnosti opisanih sustava, autor preporuča rješenja za poboljšanje manevrabilnosti određenih tipova brodova.

Istražujući detaljno mogućnosti Schilling sustava i azipod uređaja, te na temelju vlastitog višegodišnjeg iskustva u manevriranju različitim brodovima, autor je u ovome radu ponudio i odgovarajuće preporuke zapovjednicima i peljarima.

### Summary

Every vessel, regardless of her size, when moving at slow speed becomes very sensitive to wind and current effects. Besides, by reducing ship speed, the rudder lift force is significantly reduced, and in crowded and restrained waters, i.e. in circumstances which require enhanced manoeuvrability, vessels have to sail at reduced speed. Therefore, the central issue of research and practice in the field of manoeuvring is how to improve the manoeuvrability especially at slow speed.

*To solve this problem, revolutionary and significant changes have been done in the last decades.*

*The author concisely and critically shows the best known solutions with particular reference to the Schilling rudder and Azipod unit, last year awarded innovations. Comparing necessary level of manoeuvrability, required by ship's purpose, with the possibilities of described systems, the author recommends solutions to improve the vessel's manoeuvrability. Adequate suggestions to masters and pilots have been offered in this paper, owing to the fact that the author himself experienced a longtime ship handling. He also made researches into the possibilities of Schilling system and Azipod unit.*

### Uvod Introduction

"Marine Log", časopis o pomorskom poslovanju i tehnologiji, u broju od prosinca 1995. godine, donosi informaciju o nagrađenim inovacijama za 1995. godinu. Uz mnoge druge nagradu su dobili Schilling visokoučinkovito kormilo i azipod - okretljivi kompaktni porivni uređaj (*Podded propulsion unit*). [1, str.51] Ove inovacije značajan su doprinos povećanju manevrabilnosti današnjih brodova.

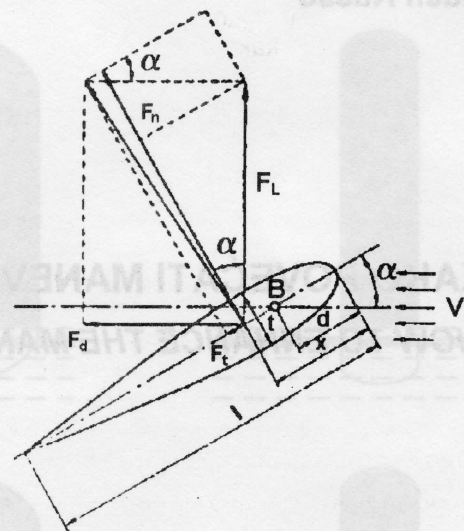
Kako brod održavati u željenom kursu, odnosno kako kontrolirano mijenjati smjer njegova gibanja, problem je s kojim su se već prvi pomorci suočili. Koliko je poznato kroz duga tisućljeća prije Krista pa sve do 13. stoljeća, za kormilaranje brodom služila su vesla.

Vesla za kormilaranje, pomorci su, valjda zato što su većinom dešnjaci, obično postavljali s desne strane krme, pa je moguće da je engleski izraz "starboard" (desno), kako neki tvrde, nastao od riječi "steor" (kasnije "steering"-kormilaranje) i "bord" (bok broda) [2, str.313]. Prema nekim autorima engl. izraz "port" (lijevo) nastao je stoga što su se u to vrijeme u pravilu brodovi u luci (port) vezivali lijevim bokom kako nebi oštetili "kormilo" s desne strane.

\* Mr. sc. Mladen Russo, kap.d.pl.  
Croatia Pilot Rijeka, peljarska postaja Split  
Pomorski fakultet Dubrovnik, studij u Splitu

Tek početkom 13. st. javlja se plosno kormilo smješteno iza krmene statue, [3, str. 215] koje se okretalo uz pomoć ruda. Veći otkloni teških kormila na većim brodovima omogućeni su tek u 18. st. uvođenjem koloturnika [4, str. 544]. Kroz dugu eru brodova na jedra pa i nakon uvođenja parnog pogona i prijelazom s drvene na čeličnu gradnju, uski i visoki list kormila ne doživljava praktički nikakvih promjena. Sedamdesetih godina 19. st. Englez Reed uvodi balansno kormilo [4, str. 545]. Dio lista balansnog kormila je ispred okretišta pa je time smanjen moment potreban za okretanje kormila.

List kormila ostaje u brodskoj uzdužnici sve do naših dana, neko vrijeme čak i na viševijčanim brodovima. Današnji dvovijčani brodovi obično imaju dva lista kormila smještena iza vijaka, tako da se korištenjem vijčanog mlaza poboljša manevarabilnost, posebno pri maloj brzini. No danas susrećemo i jednovijčane brodove sa dva lista kormila u Schillingovom Vectwin sustavu, ali i vrlo manevarabilne brodove bez kormila.



Slika 1. Sila kormila  
Figure 1. The rudder force

### Sila kormila i manevariranje pri maloj brzini *The rudder force and manoeuvring at slow speed*

Okretanje lista kormila dok okolna voda miruje nema nikakva učinka. Ali, kad se brod giba, voda struji uz list kormila pa ako se list okrene iz središnjeg položaja, javlja se **sila uzgona** jer je pad brzine strujanja na upadnoj strani, prema Bernoullijevom zakonu, praćen porastom tlaka, a porast brzine strujanja sa suprotne strane padom tlaka. Razlika tlakova stvara **silu kormila**.

Sila kormila može se rastaviti na tangencijalnu  $F_t$  i normalnu silu  $F_n$ , ili na dvije komponente: korisnu poprečnu  $F_l$  i štetnu uzdužnu komponentu  $F_d$ , koja samo povećava ukupni otpor broda.

Sila kormila ovisi o kutu otklona i obliku kormila, površini kormila, brzini gibanja kroz vodu, te o gustoći vode [3, str. 223].

Sila kormila  $F_r$  može se izraziti jednadžbom

$$F_r = C' \cdot f(A_r, V, \rho)$$

gdje je  $C'$  bezdimenzijski koeficijent sile kormila ovisan o kutu kormila i obliku lista,  $A_r$  je površina lista,  $V$  brzina gibanja i  $\rho$  gustoća vode.

Da bi gornji izraz osim matematičke dobio i fizičku jednakost, potrebno je da funkcija  $f(A_r, V, \rho)$  ima dimenziju sile. Taj je uvjet ispunjen ako jednadžba glasi

$$F_r = C' \cdot A_r \cdot V^2 \cdot \rho$$

S obzirom da je sila kormila proporcionalna razlici tlakova na različitim stranama lista kormila, najveću učinkovitost trebalo bi očekivati pri kutu kormila od  $45^\circ$ . Međutim, zbog kosog smjera strujnica, najveća učinkovitost, pri gibanju naprijed, na brodu s običnim kormilom postiže se pri otklonu od  $30$  do  $35^\circ$ .

Pri gibanju naprijed, povećanjem otklona lista kormila povećava se i krak na kojem djeluje sila kormila (hvatište se pomiče od osovine prema sredini lista), ali pri gibanju krmom povećanjem kuta otklona krak se

smanjuje (hvatište se pomiče od stražnjeg ruba prema sredini lista) [5, str. 503], pa se stoga pri gibanju unatrag najveći učinak postiže otklonom kormila od približno  $20^\circ$ . Dakle, pri gibanju krmom nema svrhe okretati kormilo više od  $20^\circ$  lijevo ili desno.

Potrebno je napomenuti da će zaokretni moment pri istom kutu otklona, pri gibanju istom brzinom naprijed i krmom, biti mnogo veći pri kretanju naprijed [5, str. 504], jer se tada okretište pomiče od sredine broda prema pramcu povećavajući time krak na kojem djeluje sila kormila. Pri gibanju krmom je obratno, tj. okretište se pomiče prema krmi pa se umanjuje krak a time i zaokretni moment. (Okretište je samo pri nultoj brzini u sredini broda.) Stoga je razumljivo zašto svaki brod, čak ako i isključimo utjecaj vijčanog mlaza (npr. dvovijčani brod s jednim listom kormila u sredini) neusporedivo bolje sluša kormilo pri gibanju naprijed nego pri gibanju krmom. Baš stoga se svojevremeno, prije uvođenja potiskivača, nastojalo pramčanim kormilom poboljšati manevarska svojstva trajekata i sličnih brodova pri vožnji krmom.

Već odavno u upotrebi su isključivo kormila strujnog presjeka jer imaju manji otpor i na propulziju djeluju povoljnije od kormila koje ima oblik ploče. Deblji profili imaju veći uzgon pa stvaraju i veći moment [3 str. 224].

Osim o koeficijentu  $C'$  (a koji ovisi o kutu i obliku kormila) sila kormila ovisi i o površini lista (koja obično iznosi 2-3% umnoška duljine i gaza broda [3, str. 225]), o kvadratu brzine strujanja vode, zbog čega je otežano manevariranje pri maloj brzini, te o gustoći vode. Pojava sustrujanja umanjuje brzinu strujanja vode u odnosu na kormilo, pa time umanjuje i silu kormila, ali vijčani mlaz ima suprotan učinak, tj. povećava brzinu strujanja, pa time i silu kormila. Ispitivanjima s istim brodom (modelom) u vodi iste gustoće, mogli bismo dokazati da se sila kormila mijenja sa kvadratom brzine, pa se stoga pri maloj brzini, naročito ako je brod izložen utjecaju jakog vjetra ili struje, redovito javlja problem kako u takvim okolnostima, sa malom silom kormila, uspješno manevarirati brodom.



Kao nekad, u doba brodova na vesla ili na jedra, tako i danas u eri mehaničkog pogona, središnji problem manevariranja jest kako ostvariti potrebnu razinu manevarabilnosti pri maloj brzini. U slobodnoj vožnji, pri punoj brzini, sila kormila producira veliki zaokretni moment pa su za održavanje kursa potrebni samo mali otkloni kormila, a veći otkloni omogućuju naglu i brzu promjenu kursa [6 str.49]. Pri tome trgovački brodovi obično ostvaruju kutnu brzinu okretanja od 0,5 do 1,5° u sekundi [7 str. 489] ovisno ponajviše o veličini broda odnosno momentu tromosti, brzini, omjeru duljine i širine broda, punoći forme (sustrujanje i upadni kut strujnica), obliku krme i veličini otvora (za vijak i iznad kormila) i o utjecaju vijčanog mlaza na list kormila. Međutim, u prometno frekventnim vodama na prilazu luci, a napose u skućenom lučkom akvatoriju, ili pri plovidbi kroz prokope i riječne tokove, dakle u okolnostima koje zahtijevaju veću manevarabilnost, sila kormila je zbog male brzine znatno smanjena.

Sila kormila pri maloj brzini može se znatno povećati djelovanjem pojačanog vijčanog mlaza na posve iskrenuto kormilo, ako se list kormila nalazi neposredno iza vijka. No, ovisno o okolnostima (veličina broda u odnosu na raspoloživ prostor i hidro-meteorološke prilike), većim jednovijčanim brodovima tako povećana sila kormila nije dovoljna za sigurno manevariranje u prostorom ograničenom lučkom akvatoriju. Angažiranjem tegljača brodaru se osjetno povećavaju lučki troškovi, što posebno pogađa linijske brodove koji tijekom jednog putovanja tiču više luka. Imperativna potreba poboljšanja manevarskih mogućnosti najprije se pojavila kod putničkih brodova i trajekata, posebno kod onih koji plove na kratkim relacijama pa u luku uplovljavaju odnosno isplovljavaju i više puta dnevno. Povećanjem manevarabilnosti umanjuju se ili eliminiraju troškovi asistiranja lučkih tegljača pri uplovljenju odnosno isplovljenju većih brodova. Putovanja takvih brodova postaju ekonomičnija, a brodovi koji se na kratkim relacijama dobro prodaju postaju i rentabilniji, jer se skraćivanjem vremena potrebnog za manevariranje umanjuje i vrijeme potrebno za obavljanje putovanja; to znači da je u istom vremenu moguće obaviti više putovanja. Posebno treba naglasiti da se povećanjem manevarskih mogućnosti tih brodova povećava i sigurnost plovidbe odnosno umanjuje rizik štete od sudara, udara ili nasukanja, a time se povećava i sigurnost ljudskih života u složenim uvjetima plovidbe u prostorom ograničenim i prometno frekventnim vodama.

### Standardna rješenja za povećanje manevarabilnosti

#### *Standard solutions to enhance manoeuvrability*

Poznato je da se manevarske mogućnosti mogu povećati:

1. viševijčanom propulzijom
2. usmjerenom propulzijom
3. bočnim i rotirajućim potiskivačima
4. visokoučinkovitim kormilom
5. kombinacijom ovih rješenja

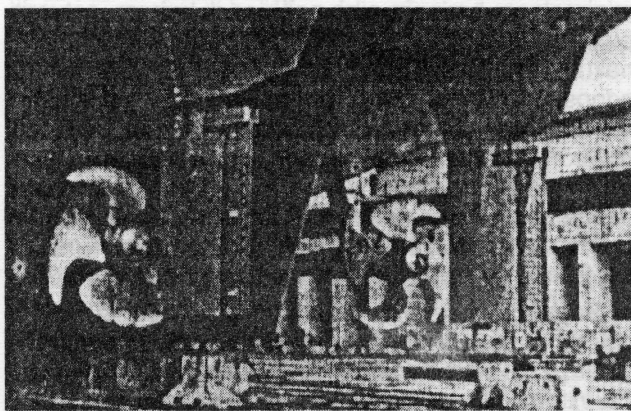
## 1. Viševijčana propulzija *Multi screw propulsion*

Tek što se vijčana propulzija, u drugoj polovici prošloga stoljeća, počela primjenjivati, pojavila se ideja da se potiskivačem poboljša manevarabilnost, no do primjene potiskivača dolazi tek stotinjak godina kasnije [8 str.379], a prva poboljšanja se ostvaruju viševijčanom propulzijom.

Samo veliki transatlantici i bojni brodovi imali su četiri vijka, neki putnički brodovi pa kasnije i trajekti imali su trovijčanu propulziju, ali budući da se pokazalo da ovi brodovi nisu manevarabilniji od dvovijčanih, ekonomski razlozi su prevagnuli, te je danas viševijčana propulzija praktički svedena na dvovijčani sustav [9 str.51].

Ekscentrično postavljene vijci produciraju dominirajući zaokretni moment čija veličina ovisi o smjeru poriva i veličini porivne sile obaju vijaka, te naravno o veličini kraka, tj. koliko su daleko od uzdužnice vijci postavljene.

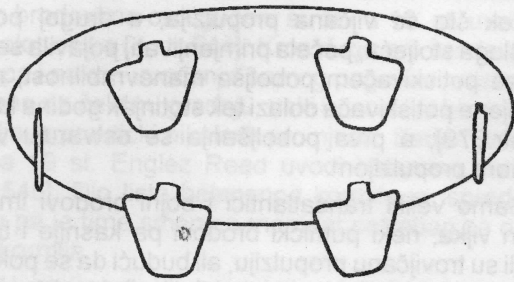
Osim ekscentriciteta na ukupni zaokretni moment značajno djeluju i moment izboja te tlačno-usisni učinak vijaka kao i učinak vijčanog mlaza na trup broda [10 str.340]. Učinak ovih čimbenika mnogo varira od broda do broda, pa tako i zaokretni moment dvovijčanih brodova. Optimalan zaokretni moment dvovijčanih brodova s vijcima stalnog uspona mogu postići samo ako se vijci u vožnji naprijed okreću prema vani, a brodovi čiji su vijci upravljivog uspona samo ako su konvergentno rotirajući, tj. ako se okreću prema uzdužnici broda [9 str. 51].



Slika 2. Dvovijčani brod s dva kormila s krilcem  
*Figure 2. A twin screw vessel fitted with two flap rudders*

## 2. Usmjerenom propulzijom *Directional propulsion*

Plovila koja su primorana manevarirati u ograničenom prostoru u svim vremenskim prilikama, a posebno na rijekama, moraju osim povećane okretljivosti imati mogućnost i transverzalnog gibanja odnosno gibanja čitavim plovilom u željenom pravcu,



Slika 3. VS propulzor  
Figure 3. VS propulsor

a to je moguće ostvariti samo ako se poriv može usmjeravati.

Do danas su poznata mnoga rješenja, ali jedno od najpoznatijih je **Voith- Schneiderov propulzor**. Po obodu diska koji rotira oko vertikalne osi smještene su lopatice čijim zakretanjem se mijenja smjer poriva [11 str.48].

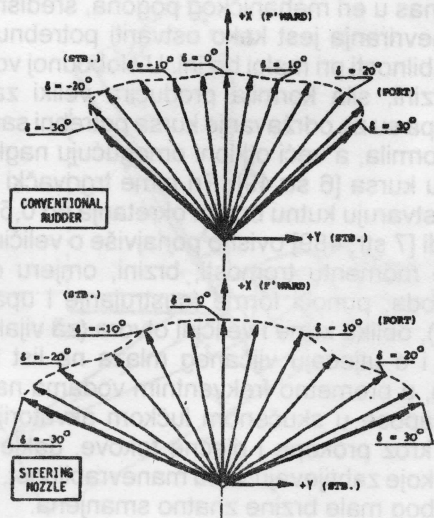
Punom porivnom silom može se djelovati u svakom pravcu pa je ovaj propulzor naročito pogodan za lučke tegljače, za trajekte koji plove na kratkim relacijama i za manje riječne i jezerske putničke brodove. No, bilo je slučajeva da se ovaj propulzor postavlja na pramcu i na krmi velikih putničkih brodova i nosača aviona samo radi povećanja manevarabilnosti [7, str.505].

Plovila s VS propulzijom nemaju nikakvo kormilo, a mogu jednako, bilo da je plovilo zaustavljeno ili se minimalnom brzinom giba naprijed ili krmom, ostvariti pomak u bilo kojem pravcu, razvijajući pri tome jednaku porivnu silu u svakom smjeru. Brodovi koji u odnosu na svoju masu (odnosno gaz) imaju veliki lateralni plan (kao npr. putnički brodovi i trajekti), dok plove malom brzinom veoma su osjetljivi na bočni vjetar, no brodovima s VS propulzorima (na pramcu i na krmi) ni bočni vjetar olujne snage ne stvara teškoće pri manevriranju. Jednako tako VS propulzori mogu uspješno neutralizirati učinak snažne bočne struje.

**Sapnica** sprečava ili umanjuje otkidanje vršnih vrtloga na krilu vijka smanjujući tako gubitak energije u mlazu iza vijka pa time povećava stupanj propulzije. Osim toga optimalni promjer vijka u sapnici manji je od optimalnog promjera vijka bez sapnice, pa tako sapnice obično koriste tegljači i kočari, a i riječni brodovi zbog svojega malog gaza.

Zakretanjem sapnice zakreće se vijčani mlaz pa će bočna komponenta sile poriva biti u funkciji kuta otklona i veličine poriva. Vijčani mlaz djeluje i na zakrenutu sapnicu (koja se zakreće do najviše 35°) tako da ona djeluje i kao prstenasto krilo [3 str.219] pa je možemo smatrati samo polu-aktivnim uređajem. Sapnicom se povećava poprečna sila na krmi, tj. povećava se okretljivost pri maloj brzini, a pri gibanju krmom sapnica je zbog usmjeravanja porivnog mlaza mnogo efikasnija od standardnog kormila [3 str.219].

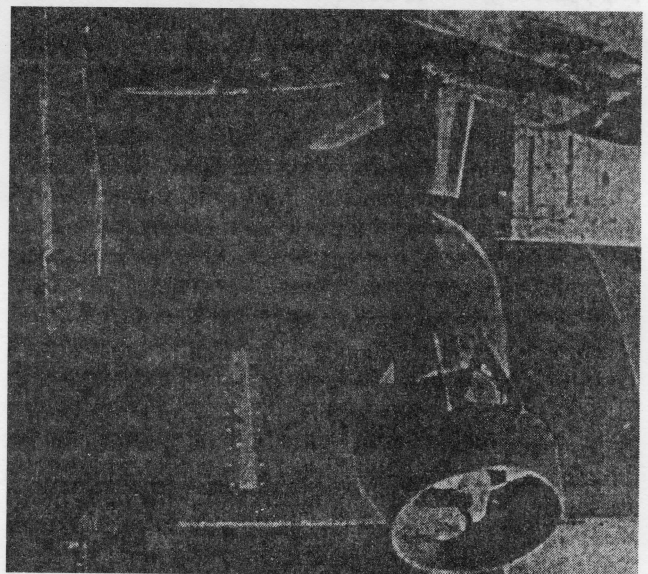
Pedesetih godina ovoga stoljeća javlja se još jedan pokušaj da se usmjeravanjem dodatnog poriva, unutar otklona kormila od  $\pm 40^\circ$ , produciranog **aktivnim**



Slika 4. Okretljiva sapnica i komparativni vektorski dijagram  
Figure 4. Steering nozzle and comparative vector diagram

**kormilom**, poboljša okretljivost pri maloj brzini i u plitkim vodama. Elektromotor smješten u kruškolikom odebljanju kormila pokreće mali vijak u sapnici. Ovaj vijak na listu kormila stavlja se u sapnicu da bi mogao poslužiti ne samo za povećati okretljivost nego i kao pričuvni porivni uređaj, kojim bi u slučaju kvara glavnog stroja, ali samo pri lijepom vremenu, manji brod mogao brzinom od 3 do 4 čv doći do odredišta [13, str.55].

Kad se govori o usmjerenju propulzije, potrebno je još spomenuti manja plovila (brodice) na reaktivni pogon koja manevriraju tako da zaklopkama mijenjaju smjer mlaza.



Slika 5. Aktivno kormilo  
Figure 5. Active rudder



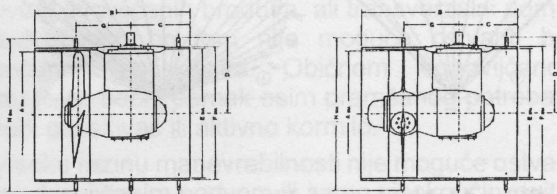
### 3. Poprečni (fiksni) i rotirajući potiskivači

#### *Transverse (fixed) and rotating thrusters*

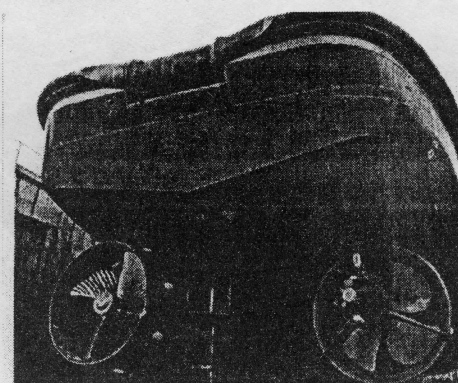
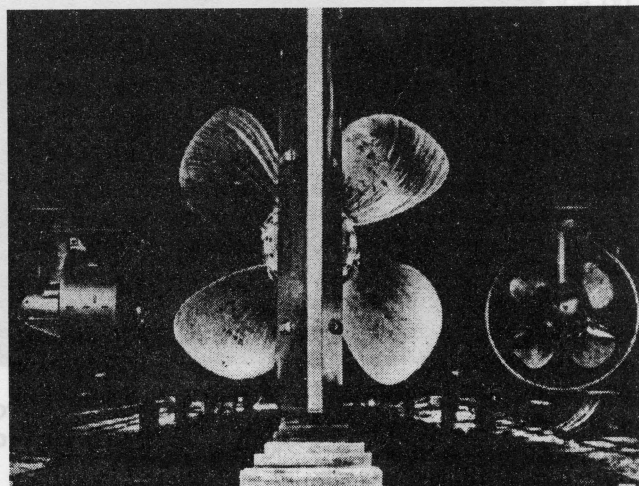
Prvi, tzv. **Y** i **T** potiskivači radili su na principu reaktivnog (mlaznog) pogona. Kroz horizontalni tunel sa pramca (Y izvedba) ili vertikalnim tunelom sa dna (T izvedba) voda je dolazila do pumpe, a vodeni mlaz se zaklopkama usmjeravao na lijevi ili desni horizontalni tunel [8 str.380]. Zbog veće efikasnosti te jednostavnije i jeftinije izvedbe ubrzo su prevladali vijčani potiskivači. U cilindričnom poprečnom tunelu smješten je vijak koji promjenom koraka (ako je vijak promjenljivog uspona) ili smjera rotacije (ako je vijak stalnog uspona) usmjerava vijčani mlaz, potiskujući tako pramac lijevo ili desno, prema potrebi.

Dvovijčani brodovi snažnih strojeva i dovoljno razmaknutih vijaka mogu, producirajući poriv suprotnog smjera, postići izuzetno veliku okretljivost, ali transverzalni pomak bez pramčanog potiskivača nije moguć. Putnički brodovi i trajekti su zbog velikog lateralnog plana i relativno malog gaza veoma osjetljivi na vjetar, pa je za siguran manevar pri jačem bočnom vjetru pramčani potiskivač nužno potreban. Poznato je da svaki brod pri gibanju krmom slabo sluša kormilo (jer se okretište pomaklo prema krmi, pa sila kormila djeluje na višestruko manjem kraku nego pri gibanju naprijed) te je za kontrolirano gibanje krmom pramčani potiskivač od velike koristi. (Pomak okretišta prema krmi čini da pramčani potiskivač postaje učinkovitiji pri gibanju krmom, jer tada, obratno od kormila, pramčani potiskivač djeluje na većem kraku, pa zato stvara i veći zaokretni moment.) Konačno, snažnim porivom naprijed s iskrenutim kormilom, ili suprotnim radom vijaka na dvovijčanom brodu, krma se pri gibanju natrag može izbiti lijevo ili desno. Sve ove činjenice kazuju koliko je pramčani potiskivač korisniji od krmenoga, pa je razumljivo da se krmeni potiskivač postavlja samo na brodove od kojih se zahtijeva izuzetno velika manevarabilnost. Ti brodovi obično imaju jedan do dva pramčana i jedan krmeni potiskivač, a najveći putnički pa i veći **OS** (*offshore supply*) brodovi obično imaju 3 pramčana i 1 ili 2 krmena potiskivača.

U početku su se (od 1960. - 1975. god.) potiskivači (*transverse, tunnel* ili *L-thruster*) najčešće ugrađivali na trajekte odnosno putničke brodove, a kasnije sve



**Slika 6. Poprečni potiskivač stalnog (lijevo) i promjenljivog uspona (desno)**  
**Figure 6. Transverse thruster of constant (left) and changable (right) pitch**



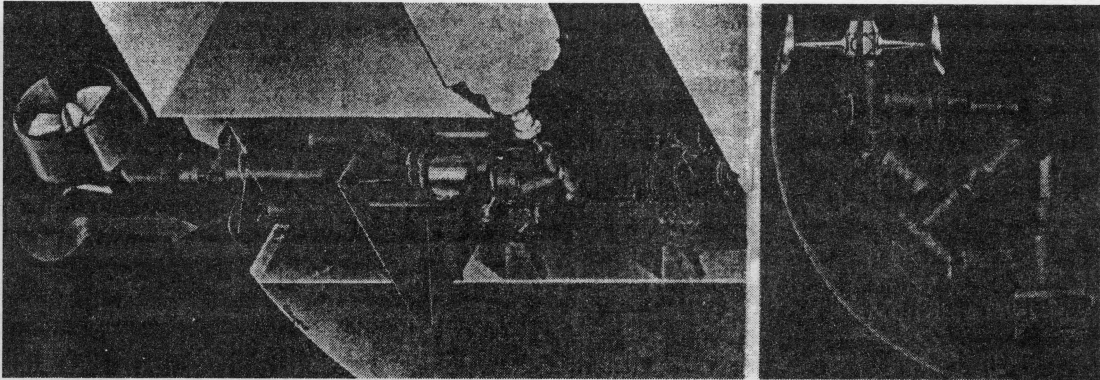
**Slika 7. Rotirajući potiskivači na Stena Seasped, brodu za podršku (gore) i na jednom lučkom tegljaču (dolje)**

**Figure 7. Ro-thrusters on Stena Seasped, support vessel (up) and on a port tug (down)**

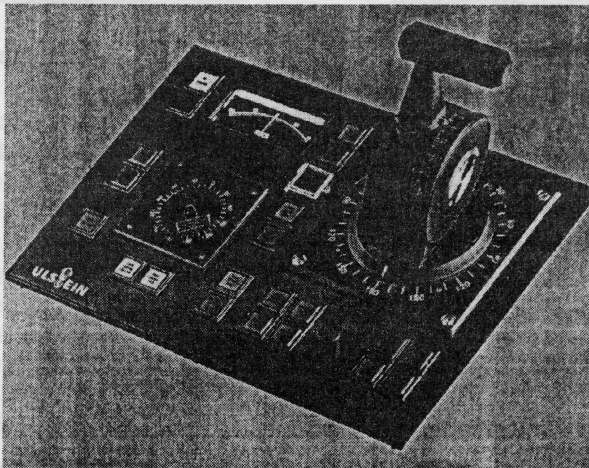
više i na RO-RO i OS brodove [8 str.391]. Danas potiskivače susrećemo i na kontejnerskim brodovima, na tankerima pa čak i na brodovima za rasute terete, čime je i kod ovih brodova potreba za asistencijom lučkih tegljača znatno umanjena, a manjim plovilima i isključena.

Na starijim brodovima potiskivači često nisu bili dovoljno snažni, no zahvaljujući tehnološkom napretku već osamdesetih godina moguće je bilo proizvesti potiskivače od 5000 kW (6800 KS) [8 str.381], tako da noviji brodovi obično imaju potiskivače odgovarajuće snage.

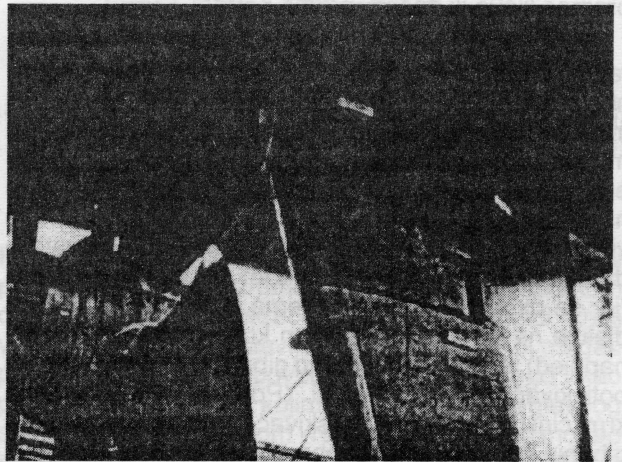
Kasnih četrdesetih **Schottel** izrađuje prve rotirajuće ili azimutne potiskivače (*RO-thruster*, ili *Azimuth thruster*) [8 str.380] koje naši pomorci jednostavno zovu "šoteli". Rotirajućim potiskivačem sva raspoloživa snaga može se koristiti u svakom smjeru, od 0-360° [14 str.42], a preokret se može ostvariti rotacijom za 180°, ali i mijenjajući smjer rotacije vijka (ako je vijak stalnog uspona) odnosno korak (ako je vijak promjenljivog koraka). Stoga ove potiskivače koriste plovila od kojih se zahtijeva najveća razina manevarabilnosti, pa se postavljaju na tegljačima, manjim trajektima, gliboderima i brodovima za podršku i opskrbu [15 str.136], a budući da su posebno pogodni za di-



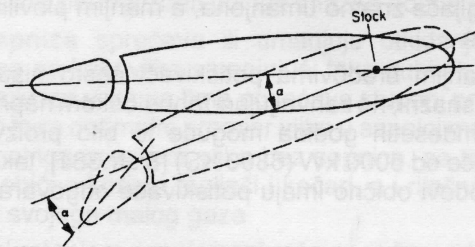
Slika 8. Uvlačivi rotirajući potiskivač  
Figure 8. Retractable R-thruster



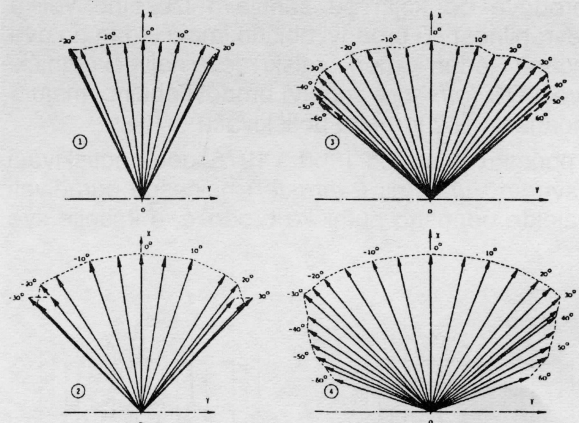
Slika 8a. Komandna ručka  
Figure 8a. Remote control lever



Slika 10. Viseće polubalansno kormilo s rotirajućim cilindrom  
Figure 10. Suspended semi-balanced rudder with a rotating cylinder



Slika 9. Kormilo s krilcem  
Figure 9. Flap rudder



Slika 11. Vektorski dijagram za: ① obično kormilo; ② = ① + aktivirano krilce; ③ = ① + aktivirani rotirajući cilindar; ④ = ① + ② + ③  
Figure 11. Vector diagram of: ① conventional rudder; ② = ① + active flap; ③ = ① + active rotating cylinder; ④ = ① + ② + ③



namičko pozicioniranje, ugrađuju se i na platforme, cijevopolagače i sl. objekte. Danas se proizvode rotirajući potiskivači snage do 6000 kW (preko 8000 KS) [16 str.13].

**Uvlačivi rotirajući potiskivači** (*retractable RO-thruster*) postavljaju se na plovila koja pri maloj brzini moraju ostvariti visoku manevarabilnost a istodobno izbjeći povećani otpor pri većoj brzini.

#### 4. Visokoučinkovita kormila *High efficiency rudders*

Impulsom vijčanog mlaza na iskrenuto kormilo stvara se potrebna sila kormila, ali učestalim ponavljanjem brod dobiva i neželjeno dodatno ubrzanje. Inače, nedostatna sila kormila, pri maloj brzini, mogla bi se povećati tako da se usporavanjem strujanja poveća pritisak na iskrenutoj strani, ili da se povećanjem brzine strujanja smanji pritisak na suprotnoj strani lista kormila. Tako su nastala kormila s krilcem (*flap rudder*) i kormila s rotorom (*rotor rudder*).

**a) Kormila s krilcem** Krilce čini obično trećinu ukupne površine kormila, a kut otklona krilca obično je dvostruko veći od kuta koji list zatvara s uzdužnicom [7 str 505]. Sila uzgona koja se tako postiže obično je 60 - 70% veća od sile koju stvara obično kormilo istog oblika, odnosa dimenzija i površine [17 str.46].

Kormila s krilcem (poznatija kao *y*) postavljaju se i na dvovijčanim brodovima sa dva lista, a pomično krilce dodaje se i kao nastavak na središnju peraju okretljive sapnice.

#### b) Kormilo s rotirajućim cilindrom

Rotirajući cilindar na prednjem rubu kormila svojom rotacijom djeluje na usisnu stranu lista, a ona, kako ispitivanja pokazuju, pridonosi približno 60% povećanju sile uzgona, te pri optimalnom odnosu brzine broda i broja okretaja cilindra, sila uzgona se može čak udvostručiti [17 str.48].

Prikazani vektorski dijagram (sl. 11.) najbolje ilustrira kako se sila kormila povećava krilcem, rotorom i zajedničkim djelovanjem krilca i rotora.

#### 5. Kombinacija navedenih sustava *Combination of exposed systems*

Ugradnjom potiskivača znatno se poboljšava okretljivost dvovijčanih brodova, ali transversalni pomak s dvovijčanim brodom nije moguće ostvariti bez pramčanog potiskivača. Običnom jednovijčanom brodu je za bočni pomak osim pramčanog potreban i krmeni potiskivač ili aktivno kormilo.

Visoku razinu manevarabilnosti nije moguće ostvariti samo dvovijčanim porivom ili samo visokoučinkovitim kormilom, pa se odgovarajuća razina manevarabilnosti, ovisno o namjeni broda, postiže kombinacijom različitih propulzora i visokoučinkovitih kormila. Tako je poluuronljiva platforma "Uncle John" opremljena s dva vijka u sapnicama (4400 kW ukupne snage) i sa 6 fiksnih potiskivača od 750 kW svaki, a hotel platforma "Safe Concordia" sa 4 rotirajuća propulzora pojed-

načne snage 2400 kW i 2 poprečna potiskivača od 1500 kW svaki [8 str.395]. Da bi mogao održavati poziciju pri vjetru bilo kojeg smjera, brzine do 50 čv i pri bočnoj struji do 4,3 čv, brod za podršku (*support vessel*) "Stena Seasped" je opremljen sa dva pramčana poprečna potiskivača pojedinačne snage 1100 kW, te dva rotirajuća potiskivača iste snage postavljena lijevo i desno od glavnog vijka promjenljivog uspona, snage 4400 kW [8 str.395]

I tankeri koji krcaju na otvorenom moraju također imati visoki standard manevarabilnosti. Tako npr. tanker "Heidrun" (LOA265m, DWT123000t, izgrađen u Južnoj Koreji prošle godine) koji prevozi sirovu naftu sa Heidrun polja u Norveškom moru, ima 3 pramčana i 2 krmena potiskivača, svaki od 1750 kW. Upotrebom sustava za dinamičko pozicioniranje može se priključiti pri valovima od 7m, a ukrcaj može obavljati i pri valovima od 15m visine [1 str 34].

Putnički brodovi i trajekti oduvijek su bili veoma manevarabilni brodovi. Tako npr. putnički brod "Oriana" (LOA 260m, bt 69153, v 24čv) izgrađen prošle godine za putovanja oko svijeta, ima 2 vijka upravljivog uspona, 3 pramčana i 1 krmeni potiskivač, a novogradnja "Legend of the Seas" sličnih karakteristika ima 2 vijka stalnog uspona, 2 pramčana potiskivača i 2 Becker kormila [1 str.39 i 40].

Novogradnja "Obbola", RO-RO brod duljine 156m i DWT 9268t, odgovarajući standard manevarabilnosti ostvaruje vijkom promjenljivog uspona (11000 KS) i Schilling kormilom, te pramčanim potiskivačem od 1085 kW [1 str 41].

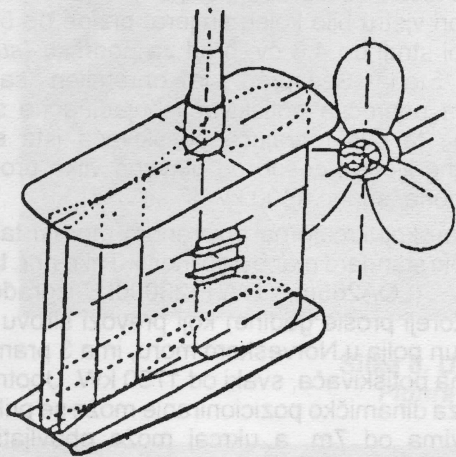
#### Schilling kormila i azipod uređaj *Schilling rudders and Azipod unit*

Veći tankeri i balker (preko 50.000 DWT), koji se danas grade, pretežito su jednovijčani brodovi s malim odnosom duljina/širina i velikim odnosom širina/gaz, te velikom vrijednošću koeficijenta punoće depasmana, pa su ti brodovi veoma okretljivi (dijametar okreta obično im iznosi samo 2,5 do 3 duljine broda). Visoku okretljivost prati umanjena sposobnost poništavanja zaokretnog momenta (*yaw checking ability*), no iskusan će kapetan, i pri maloj brzini, blagovremenim prebacivanjem kormila a po potrebi i povećanim vijčanim mlazom, znati zaustaviti okretanje i usmjeriti brod u željenom kursu. Schillingovim kormilom povećava se dinamička stabilnost, a punim otklonom od 70°, vijčani mlaz se usmjerava okomito na uzdužnicu, te stvara potisak do čak 70% snage glavnog stroja, eliminirajući tako potrebu ugradnje krmenog potiskivača [18].

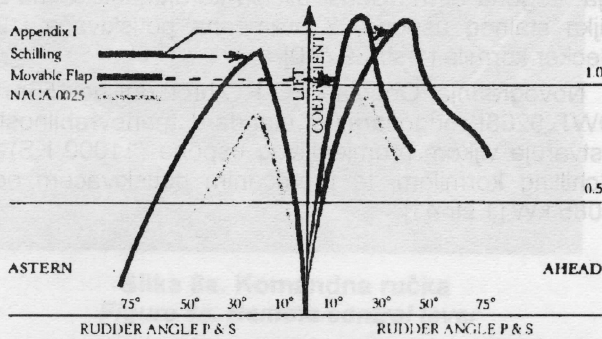
Postoje dva tipa Schilling kormila, s jednim (Monovec system) i s dva lista (Vectwin system).

#### a) Monovec

Kormilo ovog tipa prvi put se ugradio na jednom pomorskom brodu 1975. godine [2 str.313]. U početku se koristio samo na manjim brodovima, a danas se ugrađuje i na brodovima velike tonaže (preko 50.000 DWT) [19 str.59].



Slika 12. Schilling Monovec kormilo  
Figure 12. Schilling Manovec rudder

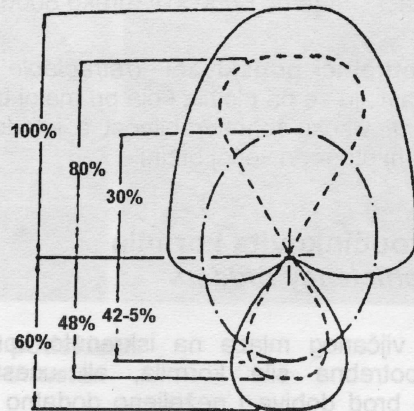


Slika 13. Koeficijenti uzgona tipičnih kormila  
Figure 13. Coefficient of typical rudder lift force

Zamisao Karla Schillinga je bila da povećanim otklonom kormila (do 70°) preusmjeri vijčani mlaz i tako poveća učinkovitost kormila pri maloj brzini [2 str.313]. Za razliku od drugih visokoučinkovitih kormila ovaj tip kormila nema pokretnih dijelova. To je balansno kormilo, strujnog presjeka čiji zadnji kraj ima presjek ribljeg repa što omogućava izuzetno dobru stabilnost kursa, a horizontalna ploča na donjem i gornjem rubu lista sprečava protok strujnica sa strane većeg, prema strani manjeg tlaka. Time se povećava sila kormila odnosno koeficijent sile uzgona, pa stoga sustav mora biti robustne izvedbe, a sila kormila postiže maksimalnu vrijednost pri otklonu od 45 do 50°.

Veći otkloni, preko 50°, koriste se ponajviše za potrebe manevariranja u luci, kad se kormilom želi postići učinak krmenog potiskivača [20]. Tako se bez troškova ugradnje i održavanja krmenog potiskivača, potpuno eliminira potreba angažiranja krmenog tegljača. Time, brodovi velike tonaže tijekom godine ostvare veliku uštedu troškova lučkog tegljenja.

Ako brod ima i odgovarajući pramčani potiskivač, može ostvariti intenzivni transversalni pomak, te pot-

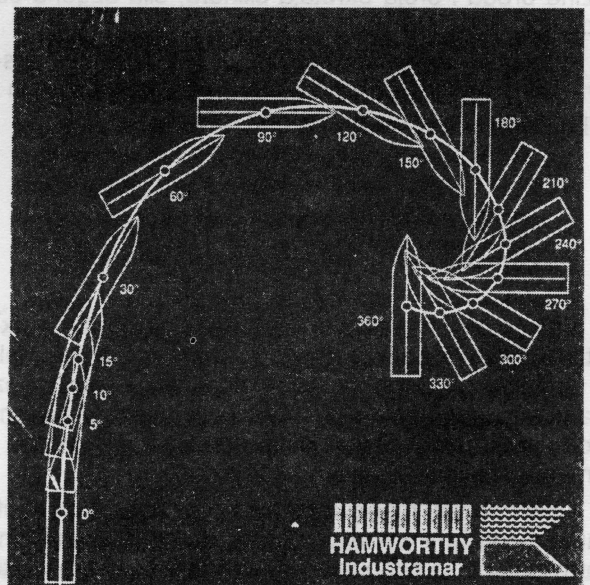


COMPARATIVE VECTOR DIAGRAM FOR VESSELS OF SIMILAR POWER  
- - - - NOZZLE RUDDER TUG  
- · - · CYCLOIDAL TRACTOR  
— SCHILLING RUDDER

Slika 14. Komparativni vektorski dijagram za Schilling Monovec kormilo  
Figure 14. Comparative vector diagram for Schilling Manovec rudder

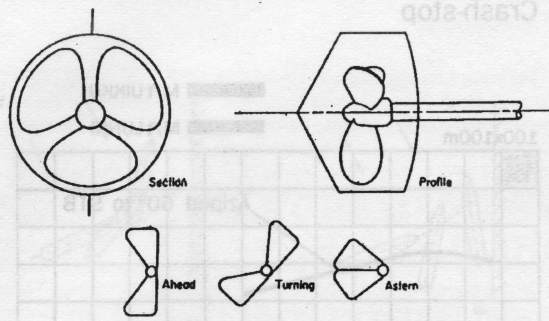
puno neutralizirati učinak bočne struje odnosno bočnog vjetra.

Brodovi velike tonaže mogu reducirati inače veliki zaustavni put koristeći maksimalni otklon kormila. Povećanje gaza uslijed nagiba tijekom okreta, bit će manje nego pri otklonu od 35°, jer uz maksimalni otklon kormila i brzina naglo opada, a nagib je u funkciji mase i kvadrata brzine broda. Naglim padom brzine naglo se smanjuje i radijus zakrivljenosti kružnice okreta, tako da prijelaz iznosi približno jednu duljinu broda, a za

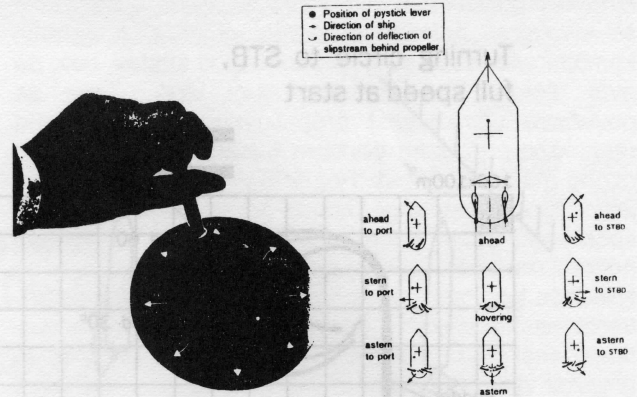


Slika 15. Krivulja okreta sa Schilling Monovec kormilom i okretljivost za različite tipove kormila  
Figure 15. The turning curve with Schilling Manovec rudder and turning capability of different rudder types





Slika 16. Kitchen kormilo u tipičnim položajima  
Figure 16. Kitchen rudder in typical positions



Slika 18. Smjer gibanja broda ovisno o položaju komandne ručke  
Figure 18. Ship's direction depending on remote control lever

promjenu kursa od 180° do 360° potrebno je manje od pola duljine broda.

**b) Vectwin**

Slabo poznatim Kitchen kormilom nastojalo se preusmjeravanjem vijčanog mlaza povećati okretljivost pri maloj brzini, te ostvariti poriv unatrag bez preketanja vijka [7 str.504].

Na istom principu radi i Vec Twin Schilling sustav. Dva lista, smještena neposredno iza vijka, pokreću se neovisno ali koordinirano, usmjeravajući samo jednom komandnom ručkom vijčani mlaz u željenom smjeru. Zaustavni put se može znatno smanjiti zaokretanjem obaju listova prema vani, a brod se može zaustaviti bez prekreta, ako se pri najvećem odklonu (105°) pojača poriv - naprijed [2 str.316]. Brod se uvijek može zaustaviti u željenom kursu te uspješno kontrolirati gibanje krmom, neovisno o izboju vijka. Napredovanje,

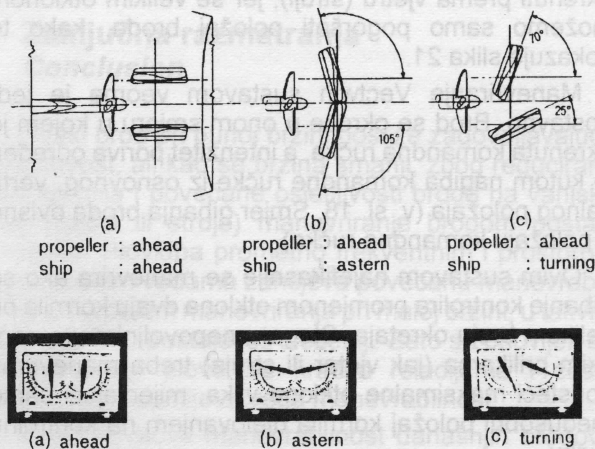
pomak i promjer kruga okreta mogu se po želji smanjivati, te se, prethodno poništivši zalet, brod može okrenuti na mjestu.

Vectwin kormila ugrađuju se pretežito na brodova manje tonaže [21], ali postoji projekt za ugradnju Vectwin sustava na brodove do 200.000 DWT [22 str.68].

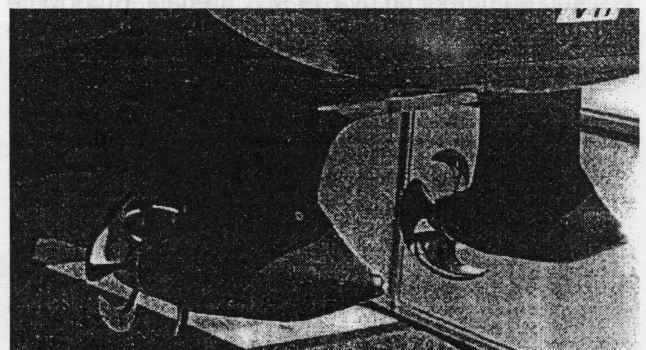
**c) Azipod sustav**

Azipod (Azimuthing Podded Drive) je okretljivi električni porivni uređaj snage do 20.000 kW. Elektromotor je smješten u kućištu vijka, dakle, izvan broskog trupa. Slično kao i rotirajući potiskivač punom snagom može djelovati u svakom smjeru, a zbog svoje velike snage azipod je ujedno i glavni porivni uređaj [23 str.7].

Ovaj kompaktni, okretljivi porivni uređaj omogućava idealnu okretljivost. Pri odklonu od 60° tanker "Uikku" na kojem je ugrađen azipod od 11,4 MW imao je pri punoj brzini od 17čv promjer okreta manji od dvije duljine broda, a zaustavni put je bio samo 700m.

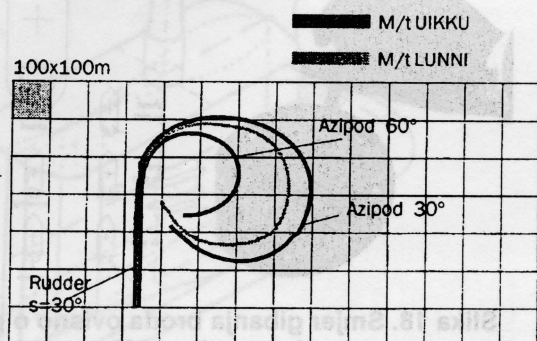


Slika 17. Izgled Vectwin Schilling kormila i položaj listova pri tipičnim manevrima  
Figure 17. Vectwin Schilling rudder and blades position during typical manoeuvring

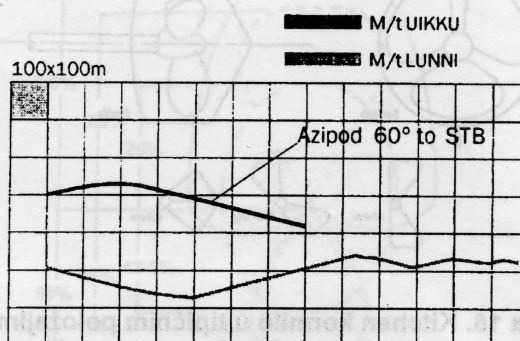


Slika 19. Model broda sa dva azipod uređaja  
Figure 19. Ship's model with two Azipod units

Turning circle to STB,  
full speed at start



Crash-stop



**Slika 20. Zaustavni put i krug okreta brodova blizanaca s azipod uređajem i klasičnim pogonom s kormilom**

**Figure 20. Stopping distance and turning circle of two sister ships with Azipod unit and conventional propulsion with a rudder**

Vožnja krmom može se ostvariti ili preketom, za koji je potrebno samo 10 sekundi, ili zaokretanjem azipoda za 180° što je moguće za približno 15 sekundi [24 str.4]. (Inače, pri crash stop manevru, za preket vijka na dizel-motornom pogonu potrebno je obično oko 2 minute.) Pri zaustavljanju kao i pri vožnji unatrag kurs se veoma uspješno može kontrolirati. Pokusne plovidbe u ledu, poduzete sa m/t "Uikku" u Botničkom zaljevu, u veljači 1994, pokazale su da vožnjom unatrag uspješno se razbija led debljine 5-7 metara [23 str.11], što je veoma značajno za arktičku navigaciju.

Ovim kompaktnim porivnim uređajem ostvaruje se ušteda prostora, nije potrebna osovina, vijak promjenljivog uspona, nije potrebno kormilo, ni krmeni potiskivač, a ugradnjom odgovarajućeg pramčanog potiskivača, potpuno se eliminira potreba asistencije lučkih tegljača, te omogućuje idealno dinamičko pozicioniranje.

Zbog prednosti azipod uređaja Carnival Cruise Lines odlučuje da na dva nova broda Fantasy klase (70.400 gt) ugradi po dva 14 MW uređaja. Brodovi će imati i tri 1,5 MW pramčana potiskivača, a biti će isporučena tijekom 1998. godine [25 str25].

### Preporuke zapovjednicima i peljarima za manevaranje brodovima sa Schilling kormilima i brodovima s azipod uređajem

#### Recommendations to masters and pilots about ship's manoeuvring with Schilling rudders and Azipod units

Schilling monovec kormilo može se zaokretati do 70°, te se može pomisliti kako najvećim otklonom dobivamo i najveću silu kormila. Međutim, kako to pokazuje dijagram koeficijenta uzgona (v. sl. 13, Koeficijenti uzgona tipičnih kormila) najveću silu uzgona, pri gibanju naprijed, postizemo otklonom od 35 do 40°. Kad se brod giba krmom, isto kao i s običnim kormilom, sila uzgona ima svoj maksimum pri otklonu od samo

20°. Poznato je također da komponenta otpora raste sa sinusom kuta otklona. Ove činjenice treba pri manevaranju uvijek imati na umu. Stoga:

1. Pri punoj brzini ne koristiti otklone veće od 40°, ukoliko se ne želi reducirati zaustavni put.
2. Pri maloj brzini najveći otklon koristiti samo onda ako se djelovanjem vijčanog mlaza želi postići učinak krmenog potiskivača.

Svaki brod je pri maloj brzini veoma osjetljiv na bočni vjetar odnosno bočnu struju. Okretanjem pramca (krme) prema vjetru ili struji izbjegava se neželjeno zanošenje. U nastojanju da se u takvim okolnostima čim prije izađe iz neugodnog položaja, može se, koristeći veliki otklon kormila, napraviti gruba greška. Stoga:

Pojačanim porivom i malim otklonom brod postupno okrenuti prema vjetru (struji), jer se velikim otklonom možemo samo pogoršati položaj broda, kako to pokazuje slika 21.

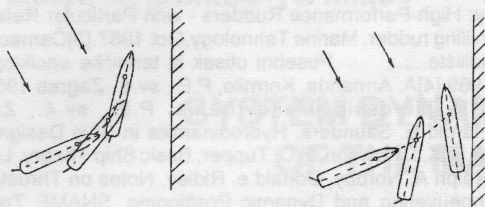
Manevaranje Vectwin sustavom veoma je jednostavno. Brod se okreće u onom smjeru u kojem je okrenuta komandna ručka, a intenzitet poriva određen je kutom nagiba komandne ručke iz osnovnog, vertikalnog položaja (v. sl. 18, Smjer gibanja broda ovisno o položaju komandne ručke).

Ovim sustavom najefikasnije se manevara ako se gibanje kontrolira promjenom otklona dvaju kormila pri velikom broju okretaja. Stoga u nepovoljnim vremenskim prilikama (jak vjetar ili struja) treba manevarati koristeći maksimalne otklone vijka, mijenjajući samo međusobni položaj kormila djelovanjem na kontrolnu ručku.

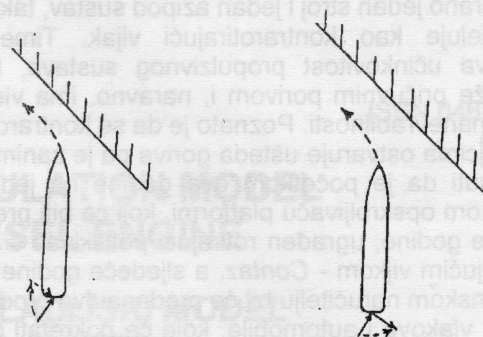
Azipod uređaj je ugrađen na tek nekoliko brodova. No, na temelju vlastita iskustva s rotirajućim potiskivačima, ipak mogu preporučiti sljedeće:

Broj okretaja vijka, pri maloj brzini, mijenjati samo po potrebi (ako treba povećati učinak u željenom pravcu), a preket koristiti samo iznimno, što znači da se pri manevaranju u luci treba ponajviše koristiti roti-





**Slika 21. Velikom otklonom Schilling kormila postiže se efekat krmenog potiskivača**  
**Figure 21. The effect of aft thruster is obtained by a large deflection of Schilling rudder**



**Slika 22. Manevar pristajanja rotiranjem azipod uređaja (lijevo) i preokretom (desno)**  
**Figure 22. Manoeuvring when coming alongside by turning the Azipod unit (left) and by reversing the propeller rotation (right)**

ranjem čitavog uređaja. Samo zaokret uređaja za 180° može se zamijeniti preokretom.

Izbjeći udar u obalu, a da se sačuva tendencija skretanja broda u lijevo i ujedno zaustavlja brod, kako slika 22. to pokazuje, moguće je na dva načina.

Za okretanje uređaja za 90° i preokret (sl.22,desno) potrebno je približno dvostruko više vremena nego za samo okretanje, pa je u takvim okolnostima prikladnije poduzeti manevar prikazan na sl 22,lijevo.

Brod koji ima dva azipod uređaja može pri manevriranju jedan uređaj imati uvijek spreman za vožnju unatrag, a rotirajući drugi postići potrebnu razinu okretljivosti tijekom čitavog manevra.

## 2. Introduction

### Zaključna razmatranja Conclusion

Svaki brod pri punoj brzini postiže zadovoljavajuću okretljivost, ali kad se brzina smanji, zbog reducirane sile kormila i povećane osjetljivosti broda na vanjske sile (vjetra ili struje) manevriranje brodom postaje otežano. Plovidba prometno frekventnim i prostorom ograničenim vodama zahtijeva povećanu manevarabilnost pa problem manevriranja pri maloj brzini, u takvim okolnostima, postaje još složeniji. Zato se oduvijek od brodova koji plove na kraćim relacijama i često manevriraju zahtijeva veća manevarabilnost.

Kako povećati manevarabilnost današnjih brodova pitanje je koje je danas veoma aktualno. Nekad se gotovo isključivo viševijčanom propulzijom nastojalo poboljšati manevarabilnost putničkih i ratnih brodova. No, u drugoj polovici ovoga stoljeća, posebno zadnjih desetljeća, javljaju se različiti sustavi koji uglavnom preusmjeravanjem porivne struje nastoje poboljšati manevarsku mogućnost broda. Istodobno, razvija se

tehnologija iskorištavanja nafte iz podmorja, a ona zahtijeva plovila najveće razine manevarabilnosti.

U ovom radu ukratko su prikazani najpoznatiji sustavi za povećanje manevarabilnosti. Komparativnom analizom ovih sustava, a ovisno o veličini i namjeni pojedinih brodova, sljedeća rješenja za povećanje manevarabilnosti mogu se preporučiti:

1. Brodovi velike tonaže (VLCC, bulk i cont brodovi) obično su veoma okretljivi brodovi (s taktičkim dijametrom od samo 2,5 do 3 duljine broda), ali istodobno i ograničene mogućnosti poništavanja zaokretnog momenta. Ugradnjom Schilling kormila, koji djeluje poput snažnog krmenog potiskivača, ne samo da se otklanja ovaj nedostatak, koji prati brodove visoke okretljivosti, već se eliminira potreba angažiranja krmenih tegljača. Kontejnerskim brodovima, obzirom da češće tiču luke, preporučljivo je ugraditi pramčani potiskivač odgovarajuće snage, čime se umanjuje ili eliminira potreba za asistencijom pramčanog tegljača, pa time u tijeku vijeka eksploatacije brodar može ostvariti velike uštede u inače visokim troškovima lučkog tegljenja.

2. Trajekti i RO-RO brodovi obično uplovljavaju krmom pa im je pramčani potiskivač nužno potreban (on je pri gibanju krmom mnogo učinkovitiji od krmenog potiskivača jer tada djeluje na mnogo većem kraku). To su tradicionalno dvovijčani brodovi, ali ugradnjom Schilling kormila i s jednovijčanom propulzijom može se ostvariti zadovoljavajuća manevarabilnost. Loša strana jednovijčane propulzije je da u slučaju kvara brod ostaje nepokretan. Ali, jednovijčanim brodovima umjesto kormila može se ugraditi azipod sustav te istodobno dobiti pričuvni porivni uređaj i najvišu razinu manevarabilnosti.

3. Veliki dvovijčani putnički brodovi za kružna putovanja mogu ugradnjom visokoučinkovitih kormila (kormila sa krilcem) potpuno eliminirati potrebu

krmenog potiskivača. No, s dva azipod sustava može se eliminirati potreba ugradnje strojeva, ili ugraditi kombinirano jedan stroj i jedan azipod sustav, tako da ovaj djeluje kao kontrarotirajući vijak. Time se povećava učinkovitost propulzivnog sustava, brod raspolaže pričuvnim porivom i, naravno, ima visoku razinu manevarabilnosti. Poznato je da se kontrarotirajućim vijcima ostvaruje ušteda goriva pa je zanimljivo spomenuti da je početkom ove godine na jednom norveškom opskrbljivaču platformi, koji će biti predan slijedeće godine, ugrađen rotirajući potiskivač s kontrarotirajućim vijkom - *Contaz*, a sljedeće godine jednom danskom naručitelju bit će predana dva broda za prijevoz vlakova i automobila, koje će pokretati četiri *Contaza* od 3.000 kW svaki (po dva na svakom kraju broda) [26, str.33.].

Rotirajući potiskivači zadovoljavaju potrebe dinamičkog pozicioniranja, no i Vectwin sustav a posebno azipod uređaj također su veoma efikasni.

Schilling kormila ili azipod uređaj značajno poboljšavaju manevarske mogućnosti svakog broda pa se mogu ugraditi i na manje brodove. Konačno, Schilling kormila su se afirmirala baš na manjim brodovima.

S obzirom na sve gore iznijete činjenice, razumljivo je da su Schilling kormilo i azipod uređaj inovacije koje su prošle godine bile nagrađene, kako je to spomenuto u uvodnom dijelu ovoga rada.

## Literatura References

- [1] Marine Log, New York, Dec. 1995. [2] V.P. Bingham i Thomas P. Mackey: High-Performance Rudders - with Particular Reference to the Schilling rudder, Marine Tehnology, Oct. 1987. [3] Čamac, brod, brodogradilište..... Posebni otkis iz tehničke enciklopedije, Zagreb 1969. [4] A. Armanda, Kormilo, P.E., sv.4., Zagreb 1957. [5] Buljan i P. Mardešić, Maneviranje, P.E., sv.4., Zagreb 1978. [6] Harold E. Saunders, Hydrodynamics in Ship Design, New York 1982. [7] K.J. Rawson, E.C. Tupper, Basic Ship Theory, London 1968. [8] Ralph A. Norbby, Donald e. Ridley, Notes on Thrusters for Ship Manoeuvring and Dynamic Positioning, SNAME Transactions, Vol.88, 1980. [9] Jochim Brix, Manoeuvres with main propellers at zero and slow ship speed, Schiff & Hafen, Hamburg, Heft 4, 1988. [10] Ministry of defence, Admiralty Manual of Seamanship, Volume III, London 1983. [11] N. Petronzi, A. Vecchia Formisano, La manovra delle navi, Torre del Greco, 1984. [12] Helmut Schwanecke, Steering nozzles, Schiff & Hafen, Hamburg, Heft 6, 1988. [13] Graham Danton, The theory and Practice of Seamanship, London 1987. [14] Jochim Brix, Rudder propellers, Schiff & Hafen, Hamburg, Heft 5, 1988. [15] K. Appleby, Propellers, propulsion and thrusters, The Nautical Institute on Command, London 1988. [16] Marine Log, New York, Jan. 1996. [17] Jochim Brix, Rudders, typical constructions and additional measures, Schiff & Hafen, Hamburg, Heft 12, 1989. [18] Hamworthy Industramar Ltd., Enhanced ship safety through better manoeuvrability, reprinted from Safety at Sea, Oct. 1991. [19] "Success for rudder on large vessels", The Motor Ship, June 1988. [20] Hamworthy Industramar Ltd., The rudder that performs like a stern thruster, reprinted from Marine Engineers Review, Oct. 1988. [21] Hamworthy Industramar Ltd., Schilling Rudder Reference List by Ship Type [22] "Twin rudders increase ship's manoeuvrability", The Motor Ship, May 1990. [23] Mikko Niini, Juhanni Laapio, Retrofitting product tankers with electrical pod drives, Ship Repair & Conversion Conference, Session 1, Tankers, London, Nov. 1995. [24] Mikko Niini, The Need for Enhanced Manoeuvrability, Seatrade Cruise Shipping Conference, Session III, Miami, March 1995. [25] Azipod in cruise ship breakthrough, Marine Engineers Review, Nov. 1995. [26] New Generation of Propulsors Chosen for New Ferries, Maritime Reporter, July 1996, str. 14. i Contaz units selected for two double-ended Danish car/train ferries, Maritime Log, July 1996.

Rukopis primljen: 26. 8. 1996.

