

SPECIFIČNOSTI MANEVRIRANJA DVOVIJČANIM BRODOVIMA S VIJCIMA PROMJENLJIVOG USPONA

PECULIARITIES OF MANOEUVRING TWIN-SCREW VESSELS WITH CONTROLLABLE - PITCH PROPELLERS

UDK 629.12.037:629.12.075

Stručni rad

Professional paper

Sažetak

Svi konvencionalni dvovijčani brodovi s vijcima stalnog uspona slično se ponašaju pri manevriranju, ali dvovijčani brodovi s vijcima promjenljivog uspona ispoljiti će specifične razlike, koje se naročito manifestiraju na brodovima s jednim kormilom.

Nakon sustavnog promatranja autor ovim radom nudi tumačenje tih specifičnih razlika.

Poznavanje ovih specifičnosti doprinosi sigurnijem manevriranju pa u zaključku autor iznosi i svoje preporuke zapovjednicima i peljarima.

Summary

All conventional twin-screw vessels fitted with fixed-pitch propellers are of similar behavior when manoeuvring, but vessels with controllable-pitch propellers manifest specific differences, which are especially manifested on single rudder vessels.

After systematic research, by this paper, the author offers explanation of those specific differences.

Knowledge of these peculiarities contribute to safer manoeuvring. In conclusion of this paper the author offer his suggestions to masters and pilots.

Uvod

Introduction

Manevriranje dvovijčanim brodovima u pravilu je veoma jednostavno. Kada brod u gibanju naprijed pod odgovarajućim kutom prilazi obali, odnosno mjestu veza, obično je dovoljno samo vanjskim strojem zavoziti krmom i brod se zaustavlja paralelno s obalom. Dakle, u ovom slučaju rad vanjskog stroja krmom rezultira zaustavljanjem i zaokretanjem broda pramcem od obale, a krmom prema obali.

Ako tako prilazimo obali konvencionalnim dvovijčanim brodom s vanrotirajućim vijcima stalnog uspona (engl. out-turning fixed-pitch propellers), brod će

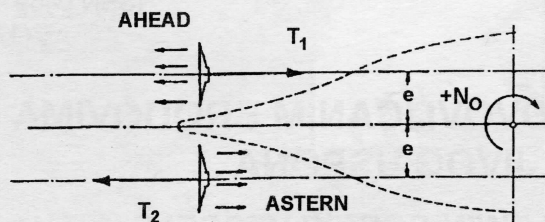
zaista, čim stroj proradi krmom, *odmah* početi skretati (na stranu vijka koji radi krmom) jer se učinak *izboja* pribraja ukupnom zaokretnom momentu, ili radi jednostavnosti razmatranja, pribraja se učinku *ekscentriciteta* kao dominantnom čimbeniku. Tako treba postupiti i kad se obali prilazi pod većim kutom, samo što tada, neposredno prije zaustavljanja, treba vozeći i unutarnjim strojem naprijed, brod dovesti u kurs paralelan s obalom. I pri radu vijka naprijed učinak *ekscentriciteta* i *izboja* opet se *zbrajaju*.

Naravno, dvovijčani brod s vijcima *promjenljivog* (upravljivog) uspona (engl. controllable-pitch propellers) *neće* se isto tako ponašati. Na takvom dvovijčanom brodu učinak *ekscentriciteta* i *izboja* zbraja se *samo* na vijku koji radi *krmom* (unutar-rotirajući vijci, in-turning propellers) ili *samo* na vijku koji radi *naprijed* (van-rotirajući vijci, out-turning propellers).

U praksi sam uočio kako mnogi zapovjednici dvovijčanih brodova ne vode računa o smjeru rotacije vijaka, te se pri manevriranju oslanjaju na učinak *ekscentriciteta*. Udar u obalu trajekta "Tiziano" (tada u vlasništvu "Adriatica di navigazione" - Venezia, a koji sada kao "Ivan Zajc" plovi pod hrvatskom zastavom) može biti dobar primjer kako ignoriranje *izboja* može rezultirati nezgodom. Brod se trebao vezati desnim bokom uz sjevernu stranu Gata sv. Duje u splitskoj luci, a kako je puhala jaka bura (vjetar s vanjskog boka), brod je, držeći se nad vjetar, obali prilazio pod nešto većim kutom i većom brzinom. Približivši se obali, zapovjednik je radom vanjskog (lijevog) vijka krmom pokušao umanjiti prilazni kut i brzinu i nije poslušao savjet peljara da prije toga snažnim impulsom - naprijed s unutarnjim (desnim) vijkom dade brodu zaokretni moment koji će pramac udaljiti od obale. Obzirom da ovaj brod ima *van-rotirajuće* vijke *upravljivog* uspona, *izbojem* umanjen učinak *ekscentriciteta* pri radu lijevog vijka krmom, iako je bio praćen radom pramčanog potiskivača i aktivnog kormila, *nije bio dovoljan* da skrene pramac prema vjetru, te je brod silovito udario desnim pramčanim ramenom u obalu.

Razgovor sa zapovjednikom nakon ove nezgode pokazao je da on nije znao kako vijci rotiraju, jer je to smatrao posve nevažnim. Ipak, da je zapovjednik poslušao savjet peljara (koji je izuzetno dobro poznao manevarske značajke toga broda), tada bi se pri

* Mr. sci. Mladen Russo, MNI
Chief pilot, Port of Split, Croatia



Slika 1. Učinak ekscentričnog položaja vijaka
Figure 1. Shaft eccentricity effect

sugeriranom manevru učinak izboja pribrojio učinku ekscentriciteta, pa bi brod zasigurno izbjegao udar u obalu, a pridodano ubrzanje naknadno bi se lako poništilo snažnim radom obaju vijaka krmom. Konačno, vez pred pramcem "Tiziana" bio je slobodan.

Za pravilno i potpuno razumijevanje problematike manevriranja dvovijčanim brodovima potrebno je ukratko upoznati osnovne čimbenike koji određuju manevarske značajke dvovijčanih brodova.

1. Čimbenici koji određuju manevarske značajke dvovijčanih brodova Factors determining manoeuvring peculiarities of twin-screw vessels

Manevarske značajke dvovijčanih brodova ovise o mnogim čimbenicima, a veličina bočne sile na krmi ponajviše o: ekscentričnom položaju vijaka, izboju vijaka, tlačno-usisnom učinku vijaka, te utjecaju vijčanog mlaza na trup broda i na list kormila.

Evo i kratkog objašnjenja ovih pojmova odnosno čimbenika:

1.1. Ekscentrični položaj vijaka Shaft eccentricity effect

S obzirom da vijci na dvovijčanom brodu nisu u uzdužnici, radom vijaka nastaje zaokretni moment, koji je u funkciji veličine porivne sile i kraka, tj. lateralne udaljenosti pravca djelovanja porivne sile od težišta odnosno brodske uzdužnice.

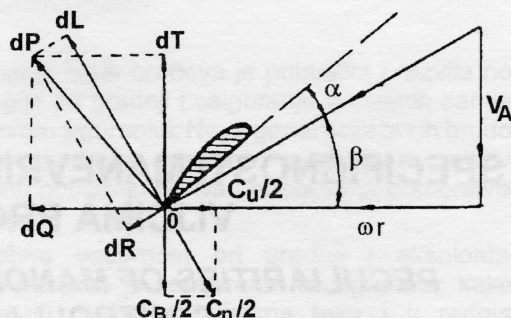
Ako jedan vijak radi naprijed, a drugi krmom, nastali momenti se zbrajaju, a brod se pramcem okreće na stranu vijaka koji radi krmom.

Ukupni zaokretni moment (N) tada će biti:

$$N = (T_1 \cdot e) + (T_2 \cdot e)$$

1.2. Izboj vijaka Screw effect (Paddlewheel effect)

Osim porivne sile u smjeru osovine, vijak pri rotaciji stvara i bočni moment - izboj. Ova pojava se može

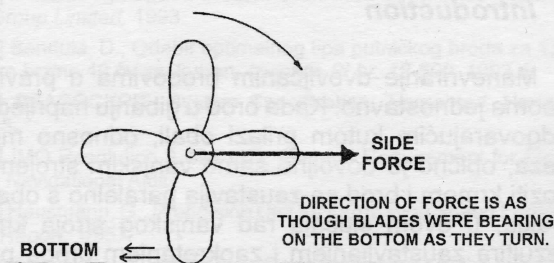


Slika 2. Objašnjenje učinka izboja
Figure 2. Explanation of screw effect

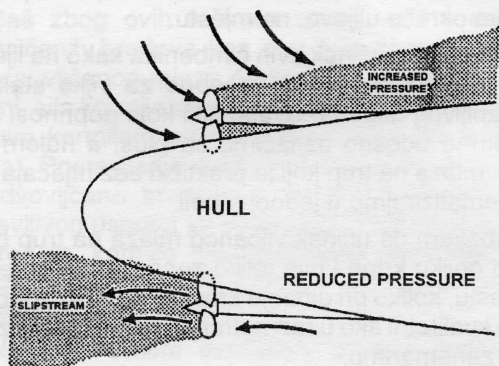
jednostavno objasniti ako se poslužimo teorijom elemenata krila vijaka, koju je još 1878. postavio W. Froude. Prema ovoj teoriji ukupni poriv i ukupni moment vijaka jednaki su sumi lokalnih poriva i lokalnih momenata, a koji nastaju na pojedinim elementima krila. Na sl. 2. prikazane su brzine i sile na jednom krilnom elementu. Relativna brzina strujanja vode V , a koja je rezultanta brzine pritjecanja vode V_A i brzine vrtnje ωr ima elementarni uzgon dL okomito na smjer upada vode i elementarni otpor dR u smjeru rezultante brzine. Komponente dL i dR imaju rezultantu dP , a koja se može rastaviti na elementarni poriv dT u smjeru gibanja i elementarni moment dQ okomito na smjer gibanja. Integracijom dQ duž radijusa dobiva se moment jednog krila što pomnoženo s brojem krila daje ukupni moment vijaka.

Pritjecanje vode nije paralelno s osovinom na čitavoj površini vijčanog diska, a niti je ujednačene brzine, pa se momenti na različitim krilima neće poništiti međusobno, već će se pojaviti izboj u smjeru rotiranja vijaka. Ovisno o smjeru rotiranja vijaka izboj ili povećava ili umanjuje učinak ekscentriciteta.

Kako se manifestira ovaj učinak, lakše je pamti ako se zamisli da vijak pri vrtnji dodiruje morsko dno (v. sl.3.).



Sl.3. Smjer djelovanja izboja
Fig.3. Direction of screw effect



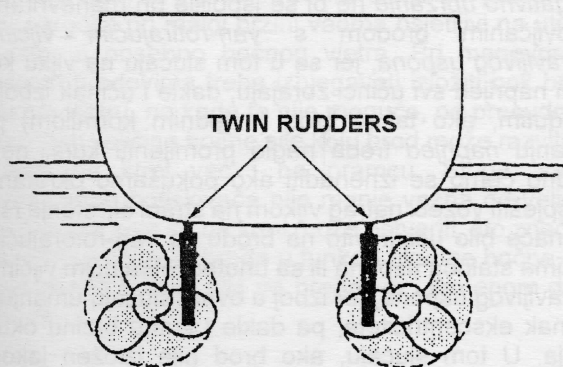
Slika 4. Tlačno-usisni učinak
Figure 4. Pressure-and-suction effect

1.3. Tlačno-usisni učinak vijaka Pressure-and-suction effect

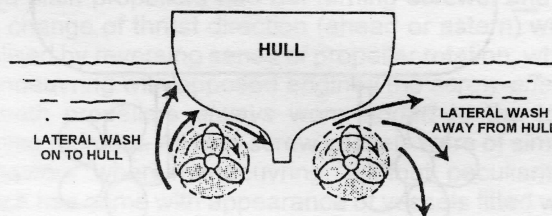
Suprotan rad vijaka na dvovijčanom brodu, naročito dok je brod još u gibanju naprijed, ima za posljedicu usporavanje strujanja, odnosno porast pritiska na strani vijaka koji radi krmom i ubrzavanje strujnica, dakle i pad pritiska pred vijkom koji radi naprijed (Bernoullijev zakon), pa se tako ovaj učinak uvijek pridodaje učinku ekscentriciteta.

1.4. Učinak vijčanog mlaza na trup broda Lateral-wash effect

Ako su vijci postavljeni blizu trupa, a brod se npr. s van-rotirajućim vijcima stalnog uspona suprotnim radom strojeva okreće na mjestu ili pri laganom gibanju krmom, tada će vijak koji radi krmom vijčanim mlazom djelovati na trup broda i tako će doprinijeti bržem okretanju broda.



Slika 6. Dvovijčani brod sa dva kormila
Figure 6. Arrangement of twin-propellers and twin-rudders



Slika 5. Učinak vijčanog mlaza na trup broda
Figure 5. Lateral wash-effect

1.5. Učinak vijčanog mlaza na kormilo Effect of propeller slipstream on to rudder

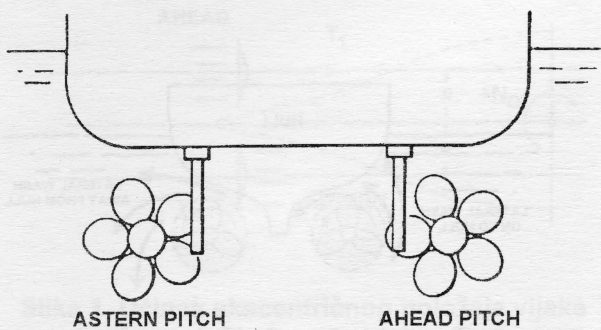
Smještaj lista kormila u odnosu na vijak od velikog je značaja, posebno pri maloj ili nultoj brzini, jer se utjecaj vijčanog mlaza na kormilo može koristiti samo ako se list kormila nalazi neposredno iza vijaka. Stoga većina dvovijčanih brodova ima i dva kormila postavljena iza svakog vijaka, kako to prikazuje sl. 6. Ipak neki dvovijčani brodovi imaju samo jedno kormilo postavljeno u uzdužnici broda. Takvo kormilo je pri maloj ili nultoj brzini posve neučinkovito.

Ako se umjesto običnih visećih kormila postave visokoučinkovita kormila Becker, Jastram ili sličnog tipa, tada će se manevrabilnost broda još više povećati.

Na kraju još treba napomenuti da oblik krmenog podvodnog dijela broda može značajno utjecati na tlačno-usisni učinak vijaka, a posebno na utjecaj vijčanog mlaza na trup broda, naročito pri gibanju krmom. Taj utjecaj će biti neusporedivo veći ako su vijci unutar-rotirajući. Inače, apsolutna veličina pa i relativni, međusobni odnos ovih čimbenika značajno se mijenja ovisno o tome poduzima li se manevar pri gibanju naprijed, krmom ili dok je brod zaustavljen.

2. Specifičnosti manevriranja različitim dvovijčanim brodovima Peculiarities of manoeuvring with different twin-screw vessels

Iako je još 1844. Wooderoff izumio vijak promjenljivog uspona, tek u drugoj polovici dvadesetog stoljeća zahvaljujući tehnološki dotjeranim i pouzdanim rješenjima za zakretanje krila, ovi vijci se sve više ugrađuju, naročito na brodove koji rade pod promjenljivim opterećenjem ili često manevriraju (teglači, kočari, ledolomci te trajekti, putnički, RO-RO, OS i ratni brodovi). Tako današnji dvovijčani brodovi obično imaju vijke upravljivog uspona, pretežito unutar-rotirajuće.



Slika 7. Dvovijačani brod koji se na mjestu okreće ulijevo

Figure 7. Twin-screw vessel turning at rest to port

Pri manevriranju, danas već zastarijelim, konvencionalnim dvovijačnim brodovima s van-rotirajućim vijcima stalnog uspona ukupna bočna sila na krmu (engl. side force ili cross-force) nastala suprotnim porivom vijaka, bila je uvijek jednaka zbroju svih gore spomenutih čimbenika. Između tih brodova okretljiviji su bili oni koji su imali snažnije pogonske strojeve i više razmaknute vijke, a kako su svi imali van-rotirajuće vijke slično su se ponašali pri manevriranju, te o nekim posebnostima nije niti moglo biti govora. Međutim, kad se na iste ili slične brodove počelo ugrađivati vijke promjenljivog uspona, moglo se opaziti kako su takvi isti brodovi sada manje okretljivi (jer im se izboji uvijek poništavaju) i kako se oni s unutar-rotirajućim i van-rotirajućim vijcima ipak različito ponašaju, pa stoga možemo govoriti o specifičnom ponašanju današnjih dvovijačnih brodova.

Tablica 1.
Table 1.

ČIMBENIK FACTOR	EPP	OUT- TURN.	CPP			
			IN TURNING		OUT TURNING	
			PORT	STDB	PORT	STDB
UČINAK EKSCENTRICI- TETA ECCENTRICI- TY EFFECT	+	+	+	+	+	+
UČINAK IZBOJA SCREW EFFECT	+	+	+	-	-	+
TLAČNO-USI- SNI UČINAK PRESSURE- SUCTION EFF.	+	+	+	+	+	+
UČINAK VIJČANOG MLAZA NA TRUP BRODA	+	0	+	0	0	0

Za potrebe analize manevrabilnosti ovih brodova zamislimo brod koji se, jednako snažnim, ali suprotnim porivom okreće ulijevo, na mjestu.

Analizirajmo učinak svih čimbenika kako na lijevom tako i na desnom vijku, posebno za vijke stalnog i promjenljivog uspona. Svaku silu koja doprinosi okretanju krmu udesno označimo sa plus, a nulom onaj učinak mlaza na trup koji je praktički bez utjecaja. Sve to sistematizirajmo u jednoj tabeli.

S obzirom da učinak vijčanog mlaza na trup broda ovisi o obliku krmu i nije toliko značajan pri okretanju na mjestu, koliko pri gibanju krmom, zaključci neće biti manje kvalitetni ako u razmatranju gornje tabele zadnji redak zanemarimo.

Iz tabele je razvidno da van-rotirajući vijci stalnog uspona (FPP, out-turning propellers) omogućuju optimalnu okretljivost, dok to nije slučaj s vijcima upravljivog uspona. Pri suprotnom radu vijaka upravljivog uspona zbrajaju se samo učinak ekscentriciteta i tlačno-usisni učinak, a učinak izboja lijevog i desnog vijka se međusobno poništavaju. Ako su vijci promjenljivog uspona i unutar-rotirajući, tada se svi učinci zbrajaju samo na vijku koji radi krmom, a ako su vijci van-rotirajući, svi učinci se zbrajaju samo na vijku koji radi naprijed. Pri manevriranju dvovijačnim brodovima sa samo jednim kormilom, a bez potiskivača, ovo je veoma važno imati na umu. U uvodu opisani slučaj udara u obalu to najbolje potvrđuje.

Uski brodovi s vijcima upravljivog uspona (s jednim kormilom i bez potiskivača) mogu se suočiti s ozbiljnim teškoćama pri manevriranju. Ako npr. takav brod s unutar-rotirajućim vijcima pri ubrzanom gibanju krmom treba usporavajući ga, okrenuti za veću kutnu vrijednost pramcem ulijevo ili udesno - svedjedno, (pramcem prema izlazu iz luke, npr.), može se dogoditi da učinak izboja, na vijku koji snažno radi naprijed, nadvlada tj. poništi učinak ekscentriciteta te se brod prestane okretati dok drugim vijkom opet ne zavezimo krmom. U ovom slučaju bolje je zalet krmom poništiti radom obaju vijaka naprijed, jer tada ne samo što nema neželjenog izboja, već se brod brže zaustavlja, a pri punom otklonu kormila, na užim brodovima naročito, kormilo, iako smješteno u sredini, ipak osjeća utjecaj vijčanog mlaza.

Opisane teškoće pri manevriranju brodom koji ima negativno ubrzanje ne bi se ispoljile pri manevriranju dvovijačnim brodom s van-rotirajućim vijcima upravljivog uspona, jer se u tom slučaju na vijku koji radi naprijed svi učinci zbrajaju, dakle i učinak izboja. Međutim, ako takav brod (s jednim kormilom) pri gibanju naprijed treba naglo promijeniti kurs, neugodno ćemo se iznenaditi ako pokušamo okretanje pospješiti vozeći natrag vijkom na strani okretanja (što bi inače bilo učinkovito na brodu sa van-rotirajućim vijcima stalnog uspona ili sa unutar-rotirajućim vijcima upravljivog uspona) jer izboj u ovom slučaju umanjuje učinak ekscentriciteta, pa dakle i kutnu brzinu okretanja. U tom slučaju, ako brod nije izložen jakom bočnom vjetru, bolje je odmah s oba stroja zavoziti snažno krmom, jer se brodu tako učinkovito smanjuje brzina, a neželjeni suprotan učinak izboja se pritom neće pojaviti jer ga poništava izboj na drugom vijku. Čim brod izgubi brzinu, sa strojem na strani suprotnoj okretu zavesti ćemo snažno naprijed (sad se svi učinci

zbrajaju), a potom po potrebi i s oba stroja, te koristeći kormilo, brod usmjeriti u željeni kurs.

Baš zbog ovih teškoća velika većina današnjih dvovijčanih brodova ima dva lista kormila. Koristeći utjecaj vijčanog mlaza na kormilo, posebno pri maloj brzini, sila kormila se višestruko povećava (na brodu s jednim kormilom pri maloj brzini ona je zanemarivo mala). Postavljanje dvaju kormila posebno je *korisno* za dvovijčane brodove s unutar-rotirajućim vijcima upravljivog uspona jer djelovanjem vijčanog mlaza na zakrenuto kormilo *nadvladavamo suprotan učinak izboja* na onom vijku koji je na strani suprotnoj smjeru okretanja broda.

Neki suvremeni dvovijčani brodovi imaju visokoučinkovita kormila koja se mogu okretati do 70°. Pri takvom odklonu kormila moguće je po potrebi iskoristiti svu snagu stroja koji radi naprijed, dok će istodobno drugim strojem biti potrebno raditi lagano do najviše pola snage krmom, da bi okomito na uzdužnicu nastala maksimalna bočna sila na krmu.

Neki noviji dvovijčani brodovi imaju mogućnost da se njihova kormila okreću zajedno ili odvojeno. Dok oba vijka rade naprijed razumljivo je da će se listovi okretati zajedno, jer se tada sila kormila na jednom i drugom listu - zbraja. Međutim, sila kormila koja se javlja na listu koji se nalazi iza vijka koji radi krmom, praktički je zanemariva, pa da se izbjegne gubitak vremena za okretanje kormila, naročito za potrebe manevriranja zaustavljenim brodom ili pri minimalnom gibanju, kormila se mogu stalno držati okrenuta prema uzdužnici (lijevo kormilo 70° desno i desno 70° lijevo). Time, osim trenutne promjene smjera poriva što nam omogućavaju vijci promjenljivog uspona, možemo imati i trenutnu promjenu smjera bočne sile na krmu. Veliki otkloni kormila toliko preusmjeravaju vijčani mlaz da je uzdužna komponenta zanemarivo mala, što je naročito podesno za dinamičko pozicioniranje.

Od dvovijčanih brodova obično se zahtijeva visoki standard manevarabilnosti što podrazumijeva i mogućnost transverzalnog gibanja. Transverzalno gibanje je moguće ostvariti samo ako i na prednjem dijelu broda možemo producirati odgovarajuću bočnu silu. Stoga današnji dvovijčani brodovi u pravilu imaju i jedan do dva pramčana potiskivača.

Neki dvovijčani brodovi (trajekti, putnički i RO-RO brodovi npr.) su plovila s velikim lateralnim planom, pa su naročito pri maloj brzini veoma osjetljivi na utjecaj vjetrova, a posebno bočnog vjetrova. Pri manevriranju takvim brodovima treba izbjegavati izložiti bok broda jakom vjetru, no kada to nije moguće, od presudne je važnosti veličina bočne sile koju brod može razviti, ne samo na krmu već i na pramcu. Stoga, snaga pramčanog potiskivača nije manje važna od veličine bočne sile koja se na krmu može ostvariti, što znači da je manevarabilnost broda u funkciji ukupne bočne sile, kao zbroja bočnih sila na prednjem i krmenom dijelu broda.

3. Conclusion Zaključak

All of the conventional twin-screw vessels with fixed-pitch propellers had out-turning screws, and as the change of thrust direction (ahead or astern) were realised by reversing sense of propeller rotation, when manoeuvring with opposed engines the *screw-effects* of both propellers *always* were *added* to the total turning moment. All twin-screw vessels were of similar behaviour when manoeuvring, without peculiarities which has come with appearance of vessels fitted with out-turning or in-turning controllable-pitch propellers.

All contemporary twin-screw vessels are fitted with controllable-pitch propellers which regardless of thrust direction (ahead or astern) rotate in permanent, but in mutually opposite direction of rotation, i. e. *screw-effects* of two in or out-turning propellers *always* mutually *cancel out* each other, if the same value of pitch is selected.

That means:

1. *The vessel fitted with twin fixed-pitch propellers is more manoeuvrable than the same vessel fitted with controllable-pitch propellers.* Namely, turning moment realised by opposite thrust of two controllable-pitch propellers, is reduced for the screw-effect value of both propellers, because *on the fixed-pitch propellers screw-effects are summing up, and on controllable-pitch propellers are cancelling out mutually.*

2. If turning moment is realised by work of *only one screw of the twin controllable-pitch propellers*, than when the screw is working **ahead**, and the propellers are:

- a) INWARDS-TURNING, the screw effect will REDUCE turning moment
- b) OUTWARDS-TURNING, the screw effect will INCREASE turning moment

As well, when the screw is working **astern**, and the propellers are:

- a) INWARDS-TURNING, the screw effect will INCREASE turning moment
- b) OUTWARDS-TURNING, the screw effect will REDUCE turning moment

Consequently, when desiring to generate maximal turning moment by use of *one* propeller, following suggestions are offered to the shiphandlers, masters and pilots:

- a) If propellers are IN-TURNING use ASTERN pitch, and
- b) If propellers are OUT-TURNING use AHEAD pitch.

The usefulness of given advice is best shown in the introduction of this paper where the case of ship to shore collision is described. Probably most of shiphandlers would react the same way in that case, therefore it is recommended to *shipbuilders* to provide all twin-screw vessels exclusively with *in-turning* controllable pitch propellers. In this case, when ahead pitch on one screw is selected, turning moment is decreased by screw effect, but if *twin-rudders* fitted, by use of *large rudder angle and intensified propeller slipstream*, *negative influence of screw effect will not be noticed.*

In any case, twin-screw vessel from which high standard of manoeuvrability is required, must be fitted with twin-rudders and strong transverse thruster on ship's forward part. The side force at stern may be additionally increased by transverse thruster or by high efficiency rudders.

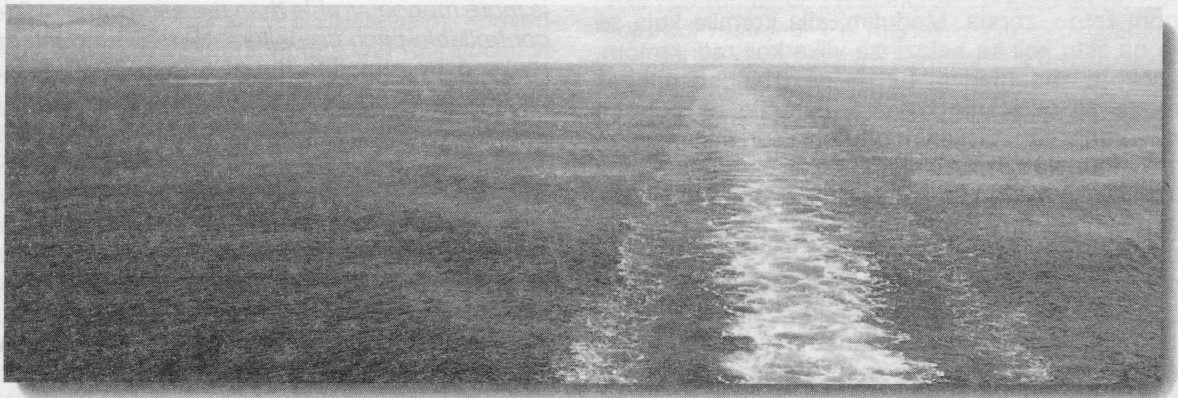
Rukopis primljen: 12. 2. 1997.

Literatura

References

- [1] Brix Jochim, Manoeuvres with main propellers at zero and slow speed, Schiff & Hafen, Heft 3, 1988., str. 54.
- [2] Crenshav R. S., Naval Shiphandling, Annapolis, Forth edition, str. 41.
- [3] Ministry of Defence, Admiralty Manual of Seamanship, Vol. III, London 1983., str.336.
- [4] Šilović S. i Sentić A., Brod, propulzija, Tehnička enciklopedija, Zagreb 1956., str.201.

NO TIME LOST



When your ship needs repair, every hour lost means money down the drain. That's why Scheldepoort Repairyard works around your schedule. Backed by Royal Schelde, we've got all equipment and spare parts you need when there's no time to lose. Not to mention a dedicated and reliable staff who are trained in all aspects of ship repair. Whether your ship is in port or at sea, our team of ship mechanics will be there with the required expertise and means when you need it most.

Located off Vlissingen roads, Scheldepoort Repairyard delivers high-quality maintenance, repairs and ship-conversion work for both planned dockings and unexpected casualties. Even the most complex challenges are welcome.

For projects that demand urgent attention, our mobile repair units are on call 24 hours a day, seven days a week. Ideally, we try to handle all repairs while the ship is being loaded or unloaded. We'll see to it that there's no time lost.



SCHELDEPOORT
REPAIRYARD

Saving you time is our business

Ritthemsestraat 500, Harbour 1010, Vlissingen-Oost. P.O. Box 16, 4380 AA Vlissingen, The Netherlands. Phone: +31 118-483000, Telefax: +31 118-483010, Telex: 37825