

Josip Lovrić*

ISSN 0469 - 6255
(191-196)

MOGUĆNOST NADZORA HIDRODINAMIČKIH OSOBINA BRODSKOG VIJKA U TIJEKU PLOVIDBE

POSSIBILITY FOR ON VOYAGE MONITORING THE PROPELLER HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS

UDK 681.1:556.34]656.61

Pregledni rad
Review

Sažetak

U uvodnom se dijelu obrazlaže nepovoljan utjecaj eksploatacijske hrapavosti¹ krila na hidrodinamičke osobine broskog vijka i na koeficijent iskoristivosti vijka i to na temelju rezultata modelskih pokusa nekolicine istraživača. Posebno se problematizira uloga koeficijenta poriva i koeficijenta momenta u slabljenju performansa vijka. U drugom dijelu iznose se rezultati pokusa u naravi koji ukazuju da u procesu obrastanja podvodnog dijela broda obrastanje vijka, unatoč velikoj oplakanoj površini trupa, igra pretežitu ulogu u opadanju propulzijskih performansa broda. U trećem dijelu, na temelju već poznatih rezultata istraživanja, ukazuje se na mogućnost nadzora broskog vijka u tijeku plovidbe uz pomoć samo dva mjerna instrumenta: torziometra i brzinomjera. U zaključku se zalaže za utvrđivanje referentne vrijednosti koeficijenta momenta na temelju provedenih sustavnih mjerenja za vrijeme pokusne plovidbe i u prvim mjesecima eksploatacije novoizgrađenog broda.

Gljučne riječi: broski vijak, koeficijent poriva, koeficijent momenta, eksploatacijska hrapavost, nadzor

Summary

The inconvenient effect of the blade exploitation roughness¹ on the propeller hydrodynamic characteristics and on the propeller efficiency coefficient based on the model experiments made by a number of scientists has been explained in the introduction. The role of thrust coefficient and torque coefficient of the propeller performance decrease has been particularly dealt with. The second part deals with the experiment result in exploitation indicating that in the process of fouling of the underwater part of the vessel, the fouling of the propeller plays the predominant role in the decrease of propulsion performance of the vessel despite the great underwater hull surface. The possibility of propeller monitoring on voyage with the help of only two measuring instruments, torsion meter and log, based on already known results of the research has been pointed out in the third part.

The conclusion aims at defining the relating values of the torque coefficient on the basis of the systematic measurements carried out during trials and in the first months of the exploitation of the newly built vessel.

Key words: propeller, thrust coefficient, torque coefficient, exploitation roughness, monitoring

*Prof. dr. sci. Josip Lovrić, dipl. ing. brodogradnje
Pomorski fakultet Dubrovnik
Dubrovnik

- (1) Hrapavost površine krila novoizgrađenog brončanog broskog vijka iznosi od 2 do 4 mikrometra, ovisno o vrsti brončane slitine. Ta se hrapavost naziva tehnološkom (ponekad i konstrukcijskom) hrapavosti. U tijeku iskorišćavanja broda hrapavost se površine krila broskog vijka povećava. Ta se pojava naziva eksploatacijskom hrapavosti. Eksploatacijska hrapavost broskog vijka posljedica je kombiniranog učinka raznorodnih procesa. Svaki odljevak vijka ima u sebi i sličnih nemetalnih čestica koje se strujanjem vode isplavaju, stvarajući tako na površini krila sitnu poroznost. Sličan samo jači učinak ima i kavitacijska erozija, te naročito elektrokemijska korozija. Eksploatacijska hrapavost broskog vijka povećava se i taloženjem katodnih soli na površini krila. Ta je pojava posljedica osobitosti u tijeku katodnog procesa na metalima u morskoj vodi koja ima visoki sadržaj kalcijevih i magnezijevih soli. Pri održavanju ona se često zanemaruje, jer se vizualno iskazuje tek kao zatamnjenje površine vijka. Talog katodnih soli može, međutim, proizvesti eksploatacijsku hrapavost i do 40 mikrometara u tijeku jedne godine, što može rezultirati povećanjem potroška goriva i do 4,5%. Svi dosad opisani procesi uzrok su postupnom povećanju eksploatacijske hrapavosti broskog vijka. Relativno naglo, pak, povećanje eksploatacijske hrapavosti broskog vijka isključivo je posljedica obrastanja. Njen učinak na hidrodinamičke osobine vijka je i nadraščitiji.

1. Uvod Introduction

Da bi se utvrdio utjecaj eksploatacijske hrapavosti krila na hidrodinamičke osobine brodskog vijka, obavljani su posebno pripremljeni modelski pokusi u kavitacijskom tunelu. Takve su pokuse izveli S. Kan, F. Gutshe, F. M. Kacman i drugi. Rezultati pokusa nedvojbeno su pokazali da zbog povećanja hrapavosti površine krila opada koeficijent iskoristivosti brodskog vijka "η₀". Radi daljnje analize ove pojave valja se pozvati na jednadžbu koeficijenta iskoristivosti brodskog vijka u slobodnoj vožnji, koja glasi:

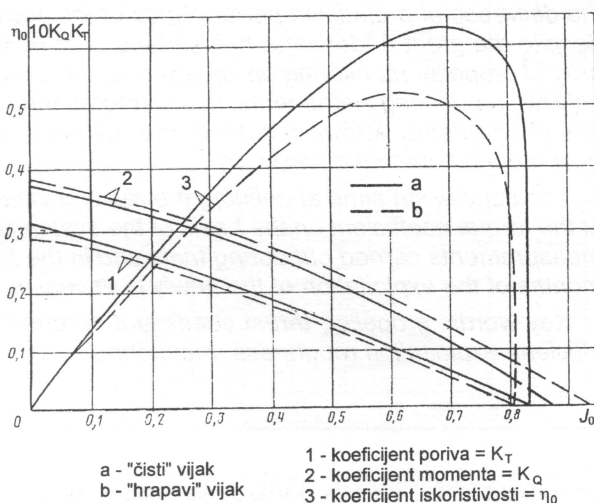
$$\eta_0 = \frac{K_T \cdot J_0}{K_Q \cdot 2\pi} \tag{1}$$

gdje je
 K_T - koeficijent poriva
 K_Q - koeficijent momenta
 J₀ - koeficijent napredovanja

$$J_0 = \frac{v_e}{n D} \tag{2}$$

v_e - brzina napredovanja vijka (m/s)
 n - broj okretaja vijka (s⁻¹)
 D - promjer vijka (m)

Koeficijent iskoristivosti brodskog vijka² ovisi, dakle, o koeficijentu poriva "K_T" i koeficijentu momenta "K_Q" tj. koeficijent iskoristivosti je tim već što je veća vrijed-



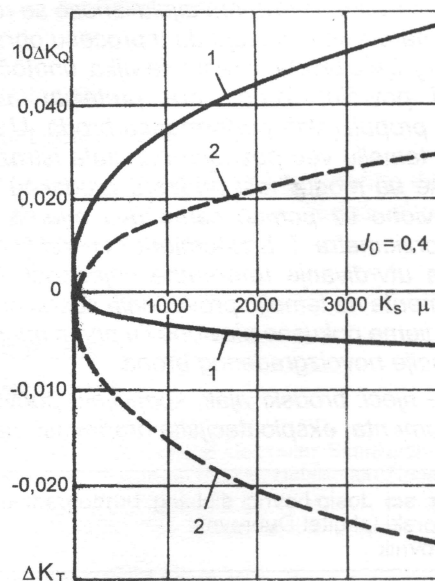
Slika 1. Utjecaj vanjskih čimbenika na hidrodinamičke osobine vijka
 Figure 1. Influence of external factors on propeller's hydrodynamics characteristics

nost koeficijenta poriva i što je manja vrijednost koeficijenta momenta. Na drugi način izraženo to znači da pad koeficijenta iskoristivosti, pri povećanju eksploatacijske hrapavosti površine krila brodskog vijka, koji je pokusom utvrđen, može biti posljedica smanjenja vrijednosti koeficijenta poriva "K_T" ili povećanja vrijednosti koeficijenta momenta "K_Q" ili kombinacije obojega.

Podrobna analiza pokazala je da je pad koeficijenta iskoristivosti zaista posljedica kombiniranog efekta smanjenja vrijednosti koeficijenta poriva i povećanja vrijednosti koeficijenta momenta, iako ne i u jednakom omjeru. Naime, promjena sile uzgona profila posljedica je razlike u stupnju utjecaja graničnog sloja pri optjecanju profila s hidrodinamskom glatkom i hrapavom površinom. Hrapavost površine snažno se odražava na otpor profila, a promjena sile uzgona profila na koeficijent poriva i koeficijent momenta vijka.

Da bi utvrdio ovisnost koeficijenta sile uzgona i koeficijenta otpora vijčanog profila o stupnju hrapavosti površine, te vezu između promjene tih koeficijenata i promjene poriva i momenta vijka sa zadanim geometrijskim osobinama, F. M. Kacman je razradio analitičku metodu proračuna, koristeći se pristupom H. Lerbs-a. Rezultati su prikazani u sl. 2³ i razlikuju se od onih dobivenih po Lerbsovoj metodi.

Naime, prema Kacmanu porastom hrapavosti osjetno raste koeficijent momenta "K_Q" dok je koeficijent poriva "K_T" na porast hrapavosti manje osjetljiv. Prema Lerbsu oba su koeficijenta osjetljiva na porast hrapa-



Slika 2. Promjena "K_T" i "K_Q" u ovisnosti o zrnatoj (modelskoj) hrapavosti "K_s" po Kacmanovoj metodi (1) i po Lerbsovoj metodi (2)
 Figure 2. Change of "K_T" & "K_Q" due to granular (model) roughness "K_s" by Kacman method (1) and by Lerbs Method (2)

(2) KACMAN, F. M. "Eksploatacija propulzivnog kompleksa morskog sudna", Moskva "Transport", 1987, str. 6
 (3) Ibid. str. 106

vosti, u čemu preteže smanjenje koeficijenta poriva "K_T". Ipak, valja reći, da se uvrštenjem bilo Lerbsovih bilo Kacmanovih parametara u izraz za proračun koeficijenta iskoristivosti brodskog vijka u slobodnoj vožnji dobijaju donekle slične vrijednosti. Ova razmišljanja u procjeni utjecaja porasta hrapavosti na pojedine parametre, pa time i koeficijent iskoristivosti vijka, utječu, međutim, presudno na ocjenu praktične mogućnosti provjeravanja hidrodinamičkih osobina brodskog vijka u tijeku same eksploatacije, tj. za vrijeme plovidbe broda. K tome, treba imati na umu da su sve metode proračuna utjecaja eksploatacijske hrapavosti na hidrodinamičke osobine vijka ipak približne metode. Naime, nemoguće je proniknuti u totalitet pojava koje se zbivaju na i oko brodskog vijka, pa ni oslanjajući se na modelske pokuse. Ove metode međutim otkrivaju elemente od kojih se ova pojava sastoji, što je bitno za razumijevanje same pojave i preduvjet za pristup njenom praćenju.

2. Obrastanje i njegove posljedice *Fouling and its consequences*

Utjecaj eksploatacijske hrapavosti vijka na performanse broda dugo je vremena bio zanemaran. Držalo se da je glavni problem u eksploatacijskoj hrapavosti brodskog trupa, tj. u obrastanju njegova podvodnog dijela. Tek kad su objavljeni prvi rezultati istraživanja utjecaja obrastanja na propulziju postala je jasna i uloga brodskog vijka u tim procesima. Na slici 3⁴ prikazan je tijek jednog od pokusa na ratnim brodovima u tropskim i subtropskim morima, koje su SAD obavile od 1976. do. 1979. godine.

Pokus je tekao na sljedeći način.

Prva pokusna plovidba izvršena je s obraslim trupom i vijkom 651 dan nakon potpunog zahvata održavanja u doku i iskorišćavanja u subtropskim morima. Izmjerena je snaga potrebna da se postigne brzina od 17 čvorova. Brod je zatim i dalje nastavio službu do 795-og dana nakon dokovanja, kad je izvršena druga pokusna plovidba s istim ciljem. Potom je očišćen vijak na otvorenome moru, ponovljena je pokusna plovidba i brod je nastavio službu do 900-og dana, kad je pokusna plovidba ponovno izvršena prije nego što je brod uplovio u luku. U luci mu je ponovno podvodno očišćen vijak (obrušen i ispoliran!) i cijeli podvodni dio trupa. Brod je odmah potom isplovio na pokusnu plovidbu. Posljednja pokusna plovidba izvršena je nakon 1200-og dana iskorišćavanja.

Rezultati se mogu sažeti kako slijedi:

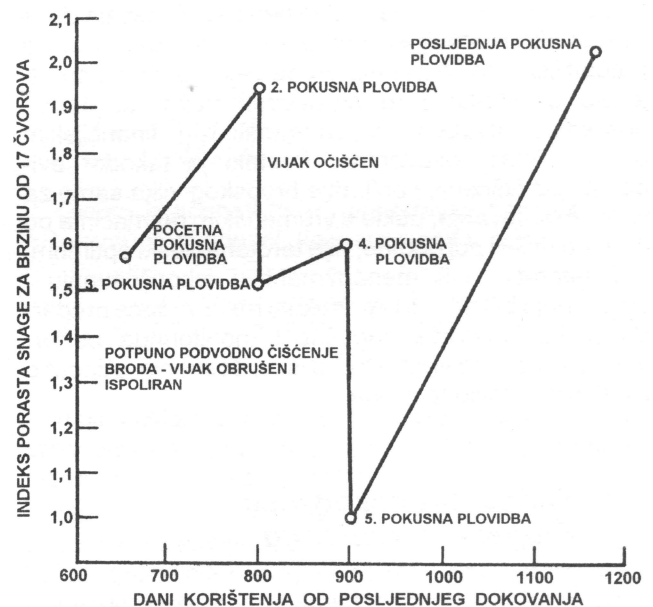
Nakon 651. dana iskorišćavanja snaga potrebna da se postigne brzina od 17 čvorova porasla je 57%; tijekom daljnje eksploatacije do 795. dana potrebna snaga porasla je za daljnjih 37%, što pokazuje da ukupni porast potrebne snage iznosi 94%; čišćenje vijka na otvorenome moru smanjilo je porast potrebne

snage s 94 na 52%; naknadno čišćenje, brušenje i poliranje vijka u luci upućuje na to da bi ova redukcija potrebne snage potpunim zahvatom održavanja vijka bila znatnija; obraslost brodskog vijka uzrokovala je porast potrebne snage za najmanje 46%; posljednja pokusna plovidba pokazuje da proces obrastanja podvodnog dijela trupa biva 1,5 puta brži nakon njegova podvodnog čišćenja nego nakon potpunog zahvata održavanja s brodom na suhu.

I Brodarski institut iz Zagreba obavio je slična ispitivanja za Jadransko more s četiri manja broda približno jednake istisnine.

Početa pokusna plovidba bila je neposredno poslije potpunog zahvata održavanja brodskoga podvodnog dijela na suhu. Brodovi su potom pušteni u normalno iskorišćavanje između 200 i 300 dana, kad je ponovno obavljena pokusna plovidba da se utvrdi stopa obrastanja i njegov utjecaj na porast snage potrebne da se postigne jednaka brzina u službi. U drugoj seriji pokusa podvodno su očišćeni brodski vijak i pramac u duljini od 0,12 L, nakon 200 dana, a potom nakon 385 dana iskorišćavanja, poslije čega je svaki put bila poduzeta pokusna plovidba. Rezultati tih istraživanja prikazani su na slici 4⁵.

Uočljiv je velik utjecaj obrastanja brodskog vijka na propulziju broda. Poliranjem vijka i podvodnim čišćenjem površine pramčanog podvodnog dijela trupa do 12% duljine broda, 200 dana nakon dokovanja, postig-

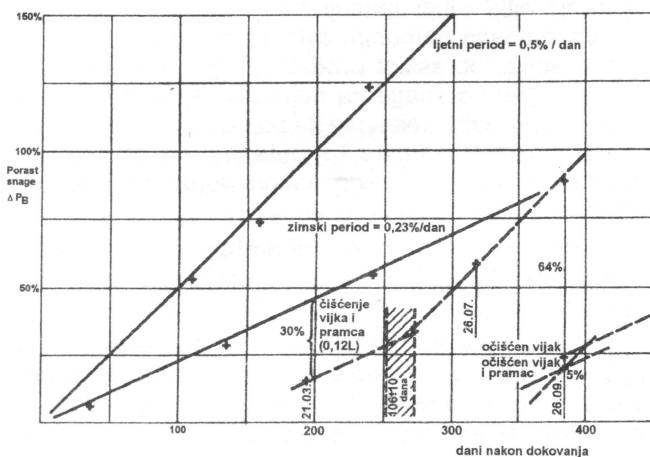


Slika 3. Dijagram snage pri konstantnoj brzini u tijeku trajanja pokusa podvodnog čišćenja brodskog vijka i trupa

Figure 3. Power diagram above constant speed during propeller and hull underwater cleaning

(4) LOVRIĆ J. "Osnove brodske terotehnologije", Pomorski fakultet, Dubrovnik, 1989, str. 234

(5) Ibid. str. 236



Slika 4. Porast ukupne snage zbog obrastanja u Jadranskom moru i učinak podvodnog čišćenja
Figure 4. Total power increase due to fouling in Adriatic sea and underwater cleaning effect

nuto je smanjenje "gubitka" snage za oko 67%, tj. oko 2/3 ukupnog povećanja snage za održavanje brzine u službi. Samim poliranjem vijka 185 dana nakon toga (i 385 dana nakon dokovanja) ukupni porast snage smanjen je za 64%.

Sva ova istraživanja nedvojbeno su dokazala da je utjecaj eksploatacijske hrapavosti brodskog vijka na propulzijske performanse broda čak presudniji od utjecaja eksploatacijske hrapavosti trupa, te da su posljedice, izražene u energetskim i financijskim pokazateljima, relevantne. Postalo je također evidentno da čišćenje i poliranje brodskog vijka samo za vrijeme dokovanja, dakle u vremenskim razmacima od dvije do dvije i pol godine, nije terotehnoški optimum, već naprotiv, loš menadžment u iskorišćavanju i održavanju broda. To je ponukalo neke vodeće brodarke tvrtke da istraže mogućnost "monitoringa" performansa brodskog vijka u tijeku iskorišćavanja, odnosno za vrijeme plovidbe broda.

3. Nadzor brodskog vijka Propeller monitoring

Da bi se mogle provjeravati performanse porivnog stroja potreban je torziometar koji mjeri moment na osovini i broj okretaja osovine, odnosno snagu na osovini. Za provjeravanje odnosa brzine broda i snage porivnog stroja potreban je još i brzinomjer. Takva sprega daje, međutim, samo indicaciju zajedničkog utjecaja eksploatacijske hrapavosti trupa i vijka na propulzijske performanse broda. Pod pretpostavkom da gaz i trim broda i vremenski uvjeti ostanu nepromi-

jenjeni, promjena u odnosima snaga-brzina-broj okretaja ne može se posebno pripisati utjecaju hrapavosti vijka ili hrapavosti trupa. Za takvo nešto potrebne su dodatne informacije koje svakako može pružiti brodski poriv-metar, ugrađen na osovini. Sljedeći ove pretpostavke obavljena su opsežna istraživanja sa SHELL-ovom ULC "LIOTINA"⁶, rezultati kojih su indikativni za današnju razinu saznanja i situaciju u domeni "monitoringa" performansa brodskog vijka. Brod je imao sljedeće značajke:

duljina između okomica - 330 m
 širina - 55 m
 gaz pod punim teretom - 22 m
 nosivost - 317 000 dwt
 6-krilni vijak, promjera - 8,65 m

Istraživanja su trajala 16 mjeseci. Za to vrijeme obavljeno je jedno dokovanje (kad je ugrađen i novi vijak) i dva podvodna poliranja vijka. Cijelo to vrijeme bilježeni su sljedeći parametri:

gaz na pramcu
 gaz na krmi
 protok goriva
 snaga na osovini
 broj okretaja osovine
 vijčani poriv
 brzina broda preko dna
 brzina broda mjerena pitot-cijevi
 brzina broda mjerena doppler-logom
 brzina i smjer vjetra
 stanje mora i smjer valova.

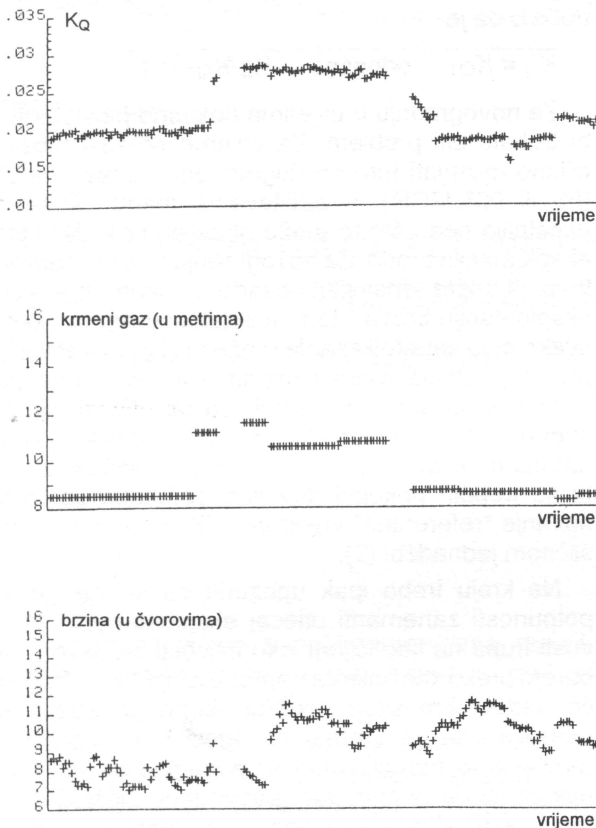
Učestalost odčitavanja bila je svako pola sata, i to kao najmanja učestalost kod koje je još moguće prikupiti dovoljan broj parametara za svrhovitu obradu.

U tijeku istraživanja podaci koje je pružao poriv-metar pokazali su se nedovoljno pouzdanim da bi se mogli uzeti u obzir. Drugim riječima uporaba poriv-metra kao mjernog instrumenta nije ispunila očekivanja. Baš ta činjenica usmjerila je istraživanje u smjeru bitno drukčijem od pretpostavke.

Naime, devet mjeseci nakon početka istraživanja podvodni pregled vijka otkrio je da su krila prekrivena finim slojem raslinja. Vijak je podvodno očišćen i ispoliran i brod je odmah nastavio putovanje. Odčitavanjem podataka s torziometra ustanovljeno je da je broj okretaja vijka za istu osovinsku snagu nakon poliranja porastao. Budući da je brod plovio pod praktično jednakim uvjetima kao i u prethodnom putovanju, a u roku kroz koji je vijak očišćen i poliran nije moglo doći ama baš do nikakve promjene u eksploatacijskoj hrapavosti trupa, ovo naglo "olakšanje" vijka moglo je biti isključivo posljedica smanjenja momenta odnosno koeficijenta momenta "K_Q". A to je značilo da se performanse brodskog vijka mogu nadzirati i bez poriv-metra, tj. samo uz pomoć torziometra i pouzdanog brzinomjera.

Odčitavanja s torziometra pokazala su, međutim, da je koeficijent momenta "K_Q" osjetljiv na promjenu gaza, trima i brzine, kako je to prikazano na slici 5.

(6) OSBORN M. "Monitoring the Service Performance of Propellers and Propulsion Devices", 6th LIPS Symposium, Drunen, 1986.



Slika 5. Promjena "K_Q" u ovisnosti o promjeni krmenog gaza i brzine
 Figure 5. Variation of "K_Q" due to change of aft draught and speed

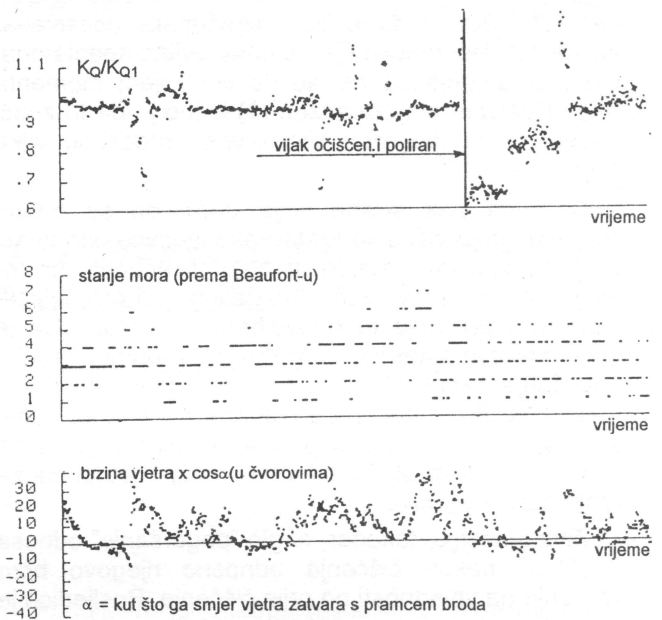
B.S.R.A.⁸ je dobila zadatak da ta odčitavanja analizira i utvrdi ovisnost "K_Q" o promjeni brzine, gaza i trima. Rezultat je slijedeća jednadžba (3).⁹

$$K_{Q1} = 0,0708 - 0,01206 T_f + 0,004488 T_a + 0,001271 V - 0,0000032408 T_a^3 - 0,00752 VT_f + 0,000704 VT_f^3 - 0,02834 VT_a^3 \pm 0,0024$$

gdje je

T_f = gaz na pramcu u metrima
 T_a = gaz na krmi u metrima
 V = brzina broda u čvorovima

$$V T_f = \frac{0,5144 V}{\sqrt{T_f \cdot g}}$$



Slika 6. Tijek krivulje "K_Q/K_{Q1}" uz prikaz stanja mora i brzine vjetra te učinak podvodnog čišćenja vijka

Figure 6. "K_Q/K_{Q1}" curve flow through various sea states & wind speeds and propeller underwater cleaning effect

$$V T_a = \frac{0,5144 V}{\sqrt{T_a \cdot g}}$$

Ovako izračunati "K_{Q1}" predstavlja zapravo neku "očekivanu" vrijednost, koja stavljena u odnos sa

$$K_Q = \frac{\text{izmjerena snaga na osovini}}{(\text{o/min})^3} \quad (4)^{10}$$

daje indicaciju o stanju brodskog vijka, odnosno promjena tog odnosa ukazuje na trend u promjenama hidrodinamičkih osobina vijka.

Na slici 6. prikazan je tijek krivulje "K_Q/K_{Q1}" kroz sedam konsektivnih putovanja (4 pod teretom i 3 u balastu) kao i odgovarajuće stanje mora i brzina vjetra, te učinak podvodnog čišćenja brodskog vijka.¹¹

Iz dijagrama je vidljivo da su izvjesna rasipanja točaka krivulje "K_Q/K_{Q1}" posljedica stanja mora i vjetra, ali je to zapravo irelevantno prema učinku što ga je proizvelo čišćenje i poliranje brodskog vijka. Odnos

(7) Ibid. str. 6/14

(8) Ibid. str. 6/7. Danas je to sastavni dio "British Maritime Technology"

(9) Ibid. str. 6/7. Jednadžba nije objašnjena pa tako ni zadnja konstanta koja se može dodati ili oduzeti. Provjere radi, ovakva kakva jest samo bez zadnjeg člana, okvirno je primijenjena na jednom bulkcarrieru od 70000 dwt hrvatske trgovačke mornarice i pokazala je izvjesnu osjetljivost prema očekivanim trendovima.

(10) Ibid. str. 6/7; snaga je izražena u HP

" K_Q/K_{Q1} " smanjio se nakon čišćenja i poliranja vijka za oko 68%. Budući da je " K_{Q1} " izračunata "očekivana" vrijednost, što znači da je za dane uvjete konstantna, cijelo smanjenje odnosi se na koeficijent momenta " K_Q ". Pozivom na jednadžbu (1) jasno je da to znači povećanje koeficijenta iskoristivosti brodskog vijka " η_0 ".

S druge pak strane valja uočiti da se odnos " K_Q/K_{Q1} " prije čišćenja kretao oko jedinice, što znači da je "očekivana" vrijednost " K_{Q1} " izračunata na temelju odčitavanja već "hrapavog" vijka; učinak čišćenja i poliranja to nedvojbeno potvrđuje. Da je " K_{Q1} " bio izračunat sa "čistim" vijkom, onda bi svako povećanje eksploatacijske hrapavosti rezultirao odnosom " K_Q/K_{Q1} " većim od jedinice, a svako čišćenje vijka taj bi odnos "vraćalo" prema jedinici. Ovo je važna konstatacija koja utječe na sam pristup metodi nadziranja brodskog vijka.

Za zapaziti je, također, naglo "pogoršanje" odnosa " K_Q/K_{Q1} " nakon čišćenja odnosno njegovo brzo vraćanje na vrijednosti od prije čišćenja. Posljedica je to petnaestodnevnog boravka broda u indijskim lukama. Pregledom broda u doku nedugo nakon toga ustanovljeno je, naime, da je vijak opet prekriven slojem raslinja, slično kao što je bio i prije čišćenja i poliranja.

4. Zaključak *Conclusion*

Dosadašnja razmatranja ukazuju na to da je nadzor brodskog vijka u tijeku plovidbe moguć i koristan. On se može provoditi kad je brod opremljen odgovarajućim torziometrom i pouzdanim brzinomjerom. I jedan i drugi uređaj prijeko su potrebni već radi nadziranja porivnog stroja i bez njih suvremene novogradnje teško da se mogu na tržištu i nuditi.

Što se tiče odnosa " K_Q/K_{Q1} ", na praćenju kojega se temelji nadzor hidrodinamičkih osobina brodskog vijka u tijeku plovidbe (odnosno njihova trenda), bitan je proračun "očekivane" vrijednosti " K_{Q1} ". Nju valja izračunati za novi "čisti" brod tj. sa svježom podvod-

nom prevlakom i netom ispoliranim vijkom. Tada bi trebalo da je

$$K_Q = K_{Q1} \quad \text{odnosno} \quad K_Q/K_{Q1} = 1$$

Za novogradnju u uvjetima pokusne plovidbe to ne bi trebalo biti problem. Za vrijeme pokusa može se ciljano mijenjati trim pri dogovorenoj "snazi u službi" (85 ili 90% MCR), a odčitavanja mogu biti mnogo učestalija nego što to može obavljati posada u tijeku eksploatacije broda. Za novogradnju pod teretom odčitavanja mora obavljati posada u prvim mjesecima eksploatacije broda i to s učestalošću ne manjom od svako pola sata (bilježenje može biti i automatsko!) uz procjenu stanja mora i brzine i smjera vjetra (iako dijagrami na slici 6 pokazuju da taj utjecaj nije presudan za konačan ishod proračuna) i, dakako, vodeći računa o boravku broda po lukama i sidrištima. Tako bi se trebalo prikupiti dovoljno podataka za izračunavanje "referentne" vrijednosti " K_{Q1} " prema modelu sličnom jednadžbi (2).

Na kraju treba ipak upozoriti da se ne može u potpunosti zanemariti utjecaj eksploatacijske hrapavosti trupa na koeficijent iskoristivosti brodskog vijka, barem preko koeficijenta napredovanja " J_0 ". Zbog toga će nadzor brodskog vijka biti puno pouzdaniji kod brodova sa suvremenim biocidnim podvodnim prevlakama, naročito onim samozagladivim (SPC). To pak znači da bi prigodom podvodnog čišćenja i poliranja vijka valjalo uvijek obaviti i površan pregled podvodnog dijela trupa, opreza i savjesnosti radi.

Literatura *Literature*

- [1] OSBORNE, M. G. "Monitoring the Service Performance of Propellers and Propulsion Devices", 6th LIPS Symposium, Drunen, 1986, str. 6/3-6/20
- [2] KACMAN, F. M. "Eksploatacija propulzivnog kompleksa morskog sudna", Moskva "Transport", 1987, str. 223
- [3] LOVRIĆ, J. "Osnove brodske terotehnologije", Pomorski fakultet, Dubrovnik, 1989, str. 262
- [4] LJUBETIĆ, M. "Otpor i propulzija broda", Pomorski fakultet, Dubrovnik, 1989, str. 144

Rukopis primljen: 15.11.1996.