

METODA KOREKCIJE BRODSKOGA VIJKA

Method of Correction of Ship's Propeller

UDK 623.85
Prethodno priopćenje
Preliminary communication

Sažetak

U ovom radu opisano je ispitivanje glavnog motora školskog broda na pokusnom stolu nakon obavljenoga generalnog remonta. Poslije ugradnje u brod obavljena su ispitivanja porivnog sustava na pokusnim plovidbama, iz kojih je vidljiva nemogućnost postizanja nominalnog broja okretaja i preopterećenje glavnoga motora. Postavljen je tehnološki model za dijagnostiku kvarova porivnoga sustava i utvrđeno je da je uzrok tomu neodgovarajući brodski vijak. Naime, postojeći brod, koji je prenamijenjen u školski, eksploatiran je tri godine s pogrešno odabranim brodskim vijkom. Posebnim pristupom napravljen je proračun korekcije brodskog vijka, te je raspoloživim tehnološkim zahvatima obavljena njegova prilagodba. Nakon opisa prilagodbe prikazani su rezultati pokusne plovidbe koji su potvrdili ispravno postavljen dijagnostički model, proračun korekcije prilagodbe i korektnost obavljenih zahvata na brodskom vijku.

Ključne riječi: brod, brodski vijak, glavni motor, korekcija.

Summary

The paper has described the examination of the main engine of a training vessel on testing desk after the general overhaul. After the installation into the vessel, the examinations were carried out on the system of propulsion on trial voyages which discovered the impossibility of achieving nominal number of revolutions and at the same time, overstraining of the main engine. The technological model for the diagnosis of breakdowns of the system of propulsion was established. It was revealed that it was caused by inadequate vessel's propeller. Namely, the existing vessel, which was redesigned into a training one, has been exploited for three years with wrongly chosen vessel's propeller. By means of a special approach, the calculation of the correction of the vessel's propeller was carried out as well as its adaptation with adequate technological operations at disposal. After the description of the adaptation, the

results of the trial voyage have been displayed which proved the application of diagnostic model, the calculation of the correction of adaptation and the correctness of the operations carried out on the vessel's propeller.

Key words: vessel, vessel's propeller, main engine, correction.

1. Uvod

Introduction

Školski brod *Naše more* dobiven je složenom i opsežnom prenamijenom ribarskoga broda. Pojedini su sustavi strukture uklonjeni, neki su prenamijenjeni, ugrađeni su novi sustavi, a određeni dio sustava prilagođen je za rad s novim sustavima i opremom. Nažalost, nije bilo mogućnosti za optimalno ispitivanje porivnoga sustava u plovidbi jer je postojeći glavni motor pri početnom dijagnosticiranju nađen u lošem stanju, pa je zahtijevao temeljit generalni remont iako je dotad imao samo 5.271 radni sat. S takvim stanjem glavnog motora, koji se uopće nije smio opteretiti, svaka pokusna plovidba bila je i vrlo nesigurna. Između ostaloga, od većih zahvata pri generalnom remontu izmijenjene su cilindarske košuljice, klipovi, svi usisni i ispušni ventili, leteći i temeljni ležajevi, obavljeno je i brušenje koljenastog vratila i njegovo poliranje.

2. Ispitivanja glavnoga motora na pokusnom stolu

Examination of Main Engine on Testing Desk

Nakon montaže svih sklopova, ugađanja i provjera koje su obavili brodogradilište, klasifikacijski zavod i brodar, glavni je motor postavljen na pokusni stol, gdje je obavljena prilagodba sustava ispuha, rashladnog sustava i prirubnice kočnice. Motor je upućen i započela je procedura uhodavanja prema proizvođačevim uputama. Uhodavanje motora bilo je posebno potrebno jer mu je bila izmijenjena većina vitalnih sklopova.

Ispitivanje motora započelo je sa 600 min⁻¹ i nakon toga su okretaji postupno povećavani prema proceduri ispitivanja. Na svakom broju okretaja motor je ispitivan

*mr. sc. Željko Kurtela, Sveučilište u Dubrovniku

**dr. sc. Vedran Jelavić, Sveučilište u Dubrovniku

*** Ante Marković, dipl. ing. brodogradilište Viktor Lenac, Rijeka (u mirovini)

određeno vrijeme pri različitim opterećenjima i silama na kočnici, pri čemu se za svako kočenje očitavala razvijena snaga i parametri rada. Prvi ciklus ispitivanja trajao je 4 sata, pri čemu je motor na 800 min⁻¹ razvio snagu od 83 kW. U drugom ciklusu ispitivanja u trajanju od 7 sati

motor je na 1.560 min⁻¹ postigao snagu od 565,9 kW. Uz mjerenje permanentno su obavljane kontrole svih sustava motora. Sažetak ispitivanja na probnom stolu prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Sažetak ispitivanja glavnoga motora na probnom stolu
Table 1. Summary of the examination of main engine on testing desk

Ispitivanje glavnog motora Wartsila SACM POYAUD UD 25 12 V na probnom stolu								Barom. tlak, mbar	1.010	
								Temperatura zraka, °C	27	
Broj okretaja min ⁻¹	600	800	900	1.000	1.100	1.200	1.300	1.400	1.500	1.600
Temp. slatke vode, ulaz u motor, °C	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Temp. slatke vode, izlaz lijevo, °C	76	76	76	76	77	77	76	78	78	78
Temp. slatke vode, izlaz desno, °C	76	76	76	76	77	77	76	78	78	78
Tlak slatke vode, bar	0,4	0,65	0,8	0,9	1	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7
Povratni tlak ispuha, mmSV	0	0	0	0	0	10	15	35	65	80
Temp. ulja izlaz iz motora, °C	76	79	81	82	84	86	86	88	91	92
Tlak ulja motora, bar	4,4	4,6	4,7	4,8	5,1	5,2	5,3	5,5	5,6	5,7
Temp. zraka na usisu u motor, °C	28	28	29	30	32	32	32	34	37	37
Temp. zraka iza rashlad. lijevo, °C	57	60	61	62	64	67	68	69	71	73
Temp. zraka iza rashlad. desno, °C	57	60	61	62	63	65	67	68	71	73
Tlak ispirog zraka iza rash. lijevo, bar	0	0,05	0,08	0,13	0,3	0,4	0,55	0,8	1,27	1,47
Tlak ispirog zraka iza rash. desno, bar	0	0,05	0,08	0,13	0,3	0,4	0,55	0,8	1,27	1,47
Temp. ispuha ispred tp. lijevo, °C	195	295	335	365	405	425	440	460	495	540
Temp. ispuha ispred tp. desno, °C	190	285	325	350	405	425	430	460	500	550
Zajednička temp. ispuha iza tp., °C	170	265	295	315	360	370	375	390	405	430
Sila na kočnici, N	500	937	1.222	1.400	1.819	2.083	2.307	2.857	3.633	4.138
Snaga motora, kW	36	75	110	139	200	251	300	400	545	662
Trajanje kočenja motora, min	40	20	20	30	20	30	20	30	20	30

Korišteno gorivo D2 – INA
 Korišteno kartersko ulje MLC - 30 CASTROL

Izvor: Prema podacima s pokusnog stola i protokola ispitivanja Remontnog brodogradilišta Šibenik - obradili autori.

Treći ciklus ispitivanja započeo je zagrijavanjem motora i trajao je oko 3 sata. Nakon zagrijavanja motora broj okretaja postupno je podizan do 1.600 min⁻¹, pri čemu je sila na kočnici u raznim intervalima mijenjana od 3.625 N do 4.138 N. Motor je postigao snagu od 662,4 kW, temperature ispušnih plinova prije turbopuhala bile su 540 °C na lijevoj ispušnoj grani, 550 °C na desnoj, dok je zajednička temperatura ispuha nakon oba turbopuhala

iznosila 435 °C. Indeks dima (*Bosch index*) mjeren je pri najvećem opterećenju motora, i on je iznosio 0,2.

Od proizvođača motora (*Wartsila SACM POYAUD*) zatraženi su i dobiveni podatci s pokusnog stola proizvođača pri ispitivanju novoga motora. Oni su uspoređivani s rezultatima obavljenih ispitivanja, i razlike su bile neznatne. Nešto više temperature ispuha na pokusnom stolu u *Surgeresu (Francuska)* bile su rezultat

više temperature zraka na usisu motora.

Na zahtjev klasifikacijskog zavoda i broдача, nakon ispitivanja demontirani su klipni mehanizmi na cilindrima A1 i B1 radi provjere istrošenja cilindarskog sklopa i letećih ležajeva i kontrole cilindarskih glava. Na oba cilindra nisu zapažena nikakva netipična istrošenja ili oštećenja, te je započela demontaža motora s pokusnoga stola i on je kroz tehnološki otvor postavljen u strojarnicu i centriran je u odnosu prema reduktoru i multiplikatoru privješениh hidrauličnih pumpa.

3. Ispitivanja porivnog sustava na pokusnim plovidbama

Examination of the System of Propulsion on Trial Voyages

Porivni sustav je ispitivan prema programu ispitivanja brodskih sustava na pokusnim plovidbama. Na mjernoj

milji porivni sustav je ispitivan pri različitim radnim režimima. Nakon ispitivanja na mjernoj milji porivni je sustav ispitan u kočarenju. Trebalo je ustanoviti može li on omogućiti brodu optimalnu brzinu kočarenja od 2,8 - 3 čv. Naime, pri minimalnim okretajima glavnoga motora od 600 min⁻¹ postignuta brzina broda iznosila je 6,1 čv (brod u plovidbi bez kočarenja). Porivni sustav u kočarenju ispitivan je povlačenjem kočarske mreže na dubini od oko 400 m.

Rezultati ispitivanja na mjernoj milji prikazani su u tablici 2. Iznenađujuća je bila nemogućnost postizanja nominalnoga broja okretaja, to jest snage glavnoga motora. Kao što se vidi, postigao je samo 1.300 min⁻¹ (umjesto 1.600 min⁻¹) u granicama dopuštenih temperatura ispušnih plinova. Najveća dopuštena temperatura ispušnih plinova prije turbopuhala prema proizvođaču iznosi 600 °C, a pri samo 1.300 min⁻¹ temperatura je iznosila 590 °C ispred lijevoga i 595 °C ispred desnoga turbopuhala.

Tablica 2. Ispitivanja porivnog sustava na mjernoj milji
Table 2. Examination of the system of propulsion on measured mile

Ispitivanje porivnog sustava m/b Naše more na pokusnoj plovidbi								Barom. tlak, mbar		1.020
								Temperatura zraka, °C		16
Broj okretaja min ⁻¹	700	800	900	1.000	1.100	1.200	1.300	1.400	1.500	1.600
Temp. slatke vode, iza rashladnika, °C	28	30	36	40	45	52	58			
Temp. slatke vode, izlaz lijevo, °C	75	76	76	76	81	82	83			
Temp. slatke vode, izlaz desno, °C	76	77	77	78	83	84	84			
Tlak slatke vode, bar	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8			
Tlak morske vode, bar	0,28	0,29	0,3	0,35	0,4	0,5	0,55			
Temp. morske vode, °C	15	15	15	15	15	15	16			
Temp. ulja izlaz iz motora, °C	78	79	80	82	85	88	90			
Tlak ulja motora, bar	4,3	4,6	4,7	4,9	5,1	5,2	5,3			
Tlak ulja reduktora, bar	24	24	24	24,6	25	25,2	25,5			
Temp. zraka na usisu u motor, °C	18	19	19	19	19	20	20			
Temp. zraka ispred rashlad. lijevo, °C	40	41	45	51	64	88	105			
Temp. zraka ispred rashlad. desno, °C	35	35	40	48	60	89	110			
Temp. zraka iza rashlad. lijevo, °C	71	72	72	73	74	75	78			
Temp. zraka iza rashlad. desno, °C	73	73	74	75	75	75	78			
Povratni tlak ispuha, mmSV	0	0	0	0	10	20	40			
Tlak ispirnog zraka iza rash. lijevo, bar	0	0,05	0,1	0,18	0,3	0,6	0,95			
Tlak ispirnog zraka iza rash. desno, bar	0	0,05	0,1	0,18	0,32	0,6	0,95			

Temp. ispuha ispred tp. lijevo, °C	230	270	325	390	440	525	590			
Temp. ispuha ispred tp. desno, °C	220	270	325	390	445	530	595			
Zajednička temp. ispuha iza tp., °C	205	247	290	339	395	445	473			
Kočna snaga motora, kW	63	71	103	148	202	269	352			
Brzina broda, čv	6,4	7,4	8,1	8,8	9,6	10,3	11			

Stanje trupa	čist	Stanje mora, ~	1	Gaz pramac/krma	1,9/3,45
Stanje vijka	čist	Stanje vjetra, Bfs ~	3	Dubina mora, m ~	56

Izvor: Obradili autori.

Na 1.300 min⁻¹ kočna snaga motora¹ iznosila je 351,6 kW, što je znatno manje od snage koju je motor postigao na pokusnom stolu. Na pokusnoj plovidbi kratkotrajno je postignut najveći broj okretaja glavnog motora od 1.486 min⁻¹ i razvijena je kočna snaga od 549 kW, ali uz temperature ispušnih plinova više od dopuštenih.

Zabrinjavajuća je bila činjenica da motor nakon obavljenoga generalnog remonta ne može postići nominalne okretaje. Odlučeno je da se sva ispitivanja na kojima nije potreban režim rada iznad 1.300 min⁻¹ - nastave.

4. Tehnološki model dijagnostike za kvarove porivnog sustava

Technological Model of the Diagnosis of Breakdowns of the System of Propulsion

Nakon završetka pokusnih plovidbi trebalo je pronaći uzroke previsokih temperatura ispušnih plinova i nepostizanja nominalnih okretaja, to jest kočne snage glavnoga motora. Iako je glavni motor ispitan na pokusnom stolu, gdje je postignuta najveća nazivna kočna snaga uz normalne radne parametre, ipak je postojala mala vjerojatnost da je razlog kvar u motoru. Zbog toga je, prije početka bilo kakvih zahvata na

porivnom sustavu, postavljen i analiziran tehnološki model dijagnostike kvarova porivnog sustava (slika 1.).

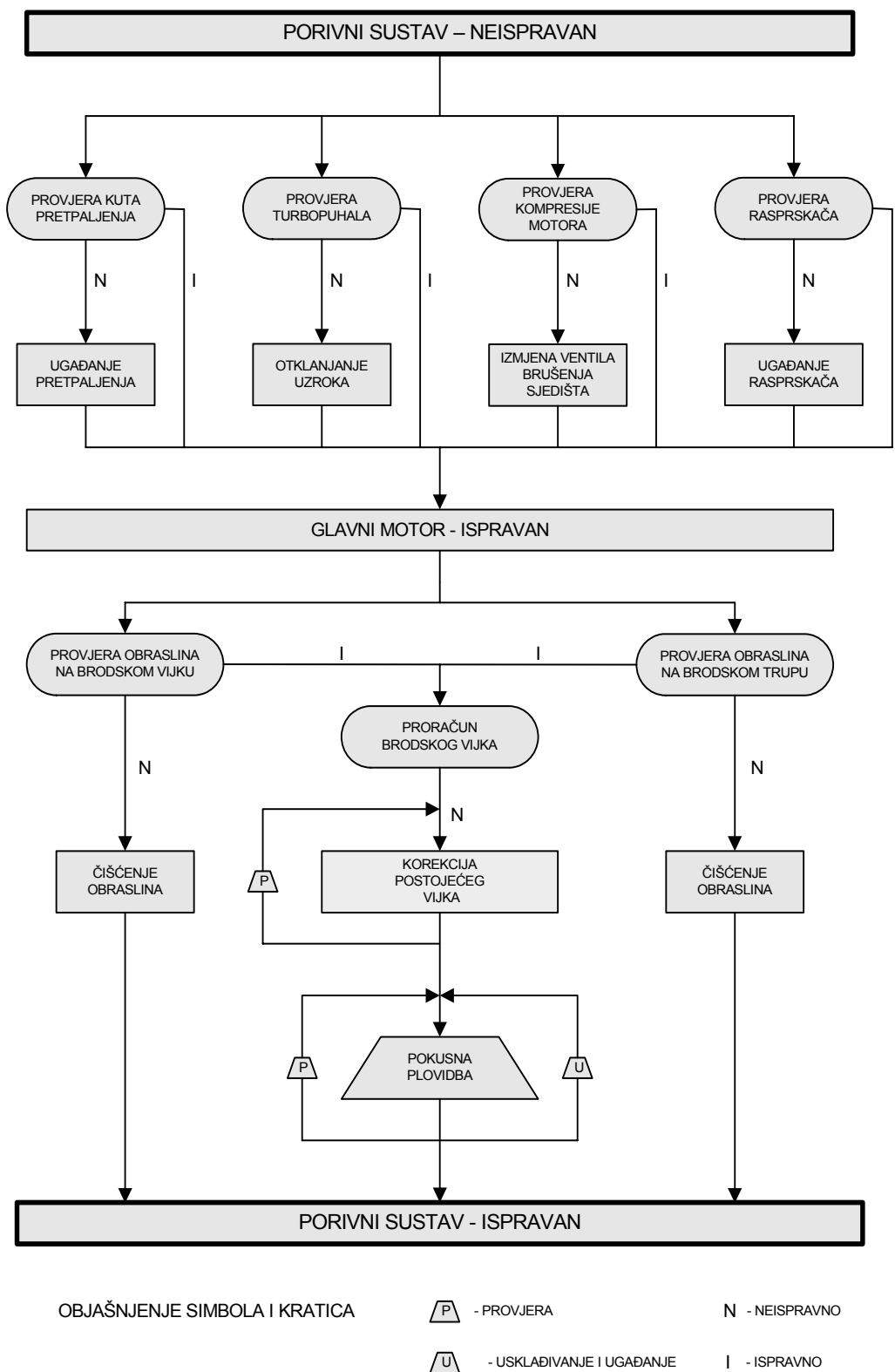
Uz pomoć modela mogli su se uvidjeti svi mogući uzroci kvarova i utvrditi metode njihova otklanjanja.

Pregledom je utvrđeno da je stanje podvodnog dijela trupa idealno, dok je s vijka očišćeno malo obraslina koje nikako nisu mogle izazvati preopterećenje motora.

Premda su svi mogući navedeni uzroci kvarova u modelu dijagnostike i otklanjanja kvarova bili manje vjerojatni, ipak su se, u skladu s postavljenim tehnološkim modelom, morali ispitati, jer se jedina preostala mogućnost kvara porivnog sustava - nije mogla olako prihvatiti. Uzrok kvara porivnoga sustava bio je, naime, u „preteškom“ brodskom vijku, zbog čega glavni motor nije mogao postići nominalne okretaje, najveću trajnu snagu. Teško privatljiva činjenica bila je da porivni sustav radi s „preteškim“, dakle pogrešno odabranim vijkom.

Vijak se prema podacima proizvođača motora (*Marine Project Guide, Wartsila*) projektira kako bi mogao apsorbirati 85% od najveće trajne snage motora pri njegovu nominalnom broju okretaja na pokusnoj plovidbi. Tijekom eksploatacije broda povećavaju se otpori zbog porasta eksploatacijske hrapavosti vijka i brodske trupa.

¹ Snaga glavnog motora mjerena je na osovini brodske vijka. Kočna snaga motora veća je od najveće trajne snage na osovini za iznos gubitaka u reduktoru ($\eta_m = 0,97$).



SI. 1. Tehnološki model dijagnostike i otklanjanja kvarova porivnoga sustava
 Fig. 1. Technological model of the diagnosis the breakdowns and the repairs of the system of propulsion

Povećava li se otpor, povećavaju se srednji efektivni tlakovi, pa zato termičko i mehaničko opterećenje motora, i on postupno dolazi do svoje najveće trajne snage, a nakon toga, ako se i dalje povećavaju otpori, nastaje preopterećenje motora. To znači da bi vijak trebalo projektirati da ne bude „pretežak“ u eksploataciji, to jest da bude „lakši“ na pokusnoj plovidbi, kako bi motor mogao imati zalihu snage.

Ta zalih snage se s vremenom smanjuje kako se povećavaju otpori uzrokovani obraslinama ili eksploatacijskom hrapavošću vijka i trupa broda. Eksploatacijska hrapavost trupa se po podrijetlu dijeli na onu koja je posljedica degradacije podvodne prevlake, korozije oplata i mehaničkih oštećenja oplata, te na onu koja nastaje obrastanjem trupa. Kod vijka ta hrapavost nastaje zbog povećanja erozije i korozije, te porasta obrasline. Navedene pojave povećavaju apsorpciju snage i smanjuju njezinu zalihu. Sama snaga glavnog motora s vremenom se polako i postupno smanjuje zbog taloženja ostataka izgaranja unutar motora i povećanja istrošenja komponenata motora. Kad zalih snage nestane, a otpori se i dalje povećavaju, motor će početi raditi u preopterećenju, i vijak postaje „pretežak“.

Rad motora u preopterećenju za posljedicu ima rast termičkih i mehaničkih opterećenja iznad dopuštenih vrijednosti. Drugim riječima, povišuje se temperatura ispušnih plinova, rashladne vode i ulja, rastu srednji efektivni tlakovi, što sve zajedno ima za posljedicu povećano trošenje i oštećenje komponenata motora. Da bi se to izbjeglo i radni parametri motora u eksploataciji održali unutar dopuštenih granica, pribjegava se smanjenju broja okretaja. Navedene se pojave pojavljuju u praksi ako se dokiranje broda i korektivni zahvati održavanja ne naprave prije nestanka zalih snage motora.

Međutim, u konkretnom primjeru teško prihvatljiva spoznaja bila je da je vijak u sprezi s glavnim motorom od samog početka eksploatacije broda bio projektno „pretežak“, dakle pogrešno odabran.

Glavni je motor prije prenamjene broda radio 5.271 sat, od čega je vjerojatno često bio preopterećivan. Zaključak se bazira na činjenici da on prije prenamjene uopće nije imao ugrađene pirometre ispušnih plinova. Ali, ipak je bio opremljen termometrima izlaznih temperatura ulja i rashladne vode. Međutim, na pokusnoj plovidbi u vožnji s preopterećenjem na 1.486 min^{-1} temperature rashladne vode i ulja nisu dosegnule nedopuštene vrijednosti, dok su temperature ispuha bile prekoračene. Iz navedenoga se može zaključiti da je glavni motor prije prenamjene radio s preopterećenjem (režim rada iznad 1.300 min^{-1}), a da ni jedan radni parametar za kojega je postojala mogućnost mjerenja nije bio iznad dopuštenih vrijednosti. Preopterećenje se pojavljivalo kad je motor postizao samo 53 % od najveće trajne snage, dakle ne samo da nije imao zalihu snage već punu snagu nije mogao razviti zbog „preteškoga“ vijka.

Česta termička i mehanička preopterećenja izazvala su velika oštećenja vitalnih komponenata motora. Tako su napokon bili potpuno jasni svi razlozi zbog kojih je nakon navedenog broja radnih sati došlo do velikih

oštećenja cilindarskih sklopova i koljenastog vratila. Posljedica rada s pogrešno odabranim vijkom bila je potreba generalnog remonta nakon 5.271 sat umjesto nakon predviđenih 25.000 radnih sati. Vrijeme između korektivnih zahvata održavanja i predviđeni radni vijek komponenti glavnog motora prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. Vrijeme između korektivnih zahvata i radni vijek vitalnih komponenata glavnoga motora

Table 3. The time between repairs and life span of the vital components of main engine

Komponenta motora	Vrijeme između zahvata održavanja, sati	Predviđeni vijek trajanja komponente, sati
Klipni prsteni	7.500	12.000
Klipovi	7.500	25.000
Košuljice	15.000	25.000
Cilindarske glave	7.500	50.000
Usisni ventili	7.500	15.000
Ispušni ventili	7.500	7.500
Temeljni ležajevi	25.000	25.000
Leteći ležajevi	25.000	25.000
Generalni remont	25.000	

Izvor: Marine Project Guide, *Wartsila Diesel*, Surgeres, 1995

5. Prilagodba broskog vijka

The Adaptation of the Ship's Propeller

5.1. Proračun vijka

Calculation of the Propeller

Proračunom se trebalo utvrditi kako će se i koliko apsorpcijski neispravan vijak korigirati. Korekcija se obavlja smanjenjem promjera, mijenjanjem uspona, lokalnim mijenjanjem profila ili kombinacijom tih promjena.

S obzirom na stanje preopterećenosti motora, provjera glavnih karakteristika vijka obavljena je s pomoću:

- računalnog programa *Seapower* baziranoga na B seriji *Wageningen* bazena,
- empirijskih formula *Wageningen Institute*,
- empirijskih metoda autorâ.

Polazi se od uvjeta da vijak mora apsorbirati 85% od najveće trajne snage motora pri njegovu nominalnom broju okretaja na pokusnoj plovidbi. Za analizu su uzeti sljedeći podatci:

- 85% od najveće trajne snage, MCR^2 546 kW,
- promjer postojećeg vijka, D1.950 mm,

² Najveća trajna snaga MCR manja je od kočne snage za iznos gubitaka u reduktoru, i iznosi 642 kW.

- omjer površine, A_E/A_O0,5,
- broj krila.....4,
- duljina broda na vodnoj liniji, Lwl23,9 m,
- najveća širina broda na vodnoj liniji, B7,4 m,
- gaz na sredini broda, T2,8 m,
- istisnina, Δ 298 t,
- najveća brzina broda, V11,5 čv.

$$\Delta P_{kor-} = \frac{(1.600 - 1.486)}{1.600} \cdot 1.500 \cdot 1,5$$

$$P_{kor-} = 160,3 \text{ mm}$$

Potrebna korekcija, to jest smanjivanje uspona postojećeg vijka, iznosi **160,3 mm**.

Prema rezultatima proračuna s pomoću računalnog programa, u tablici 4. dana je usporedba postojećega vijka i onoga koji bi se trebao korigirati prema proračunu.

S pomoću metode autorâ korekcija uspona ΔP_{kor-} , mm određuje se prema izrazu:

Tablica 4. Karakteristike postojećega i korigiranog vijka

Table 4. Characteristics of existing and corrected propeller

	Postojeći vijak	Korigirani vijak
Promjer D, mm	1.950	1.950
Uspón P, mm	1.500	1.344
Broj krila	4	4
Omjer površine, A_E/A_O	0,5	0,514

$$\Delta P_{kor-} = \frac{n_{nep}}{n_{pos}} P \quad 1,5 \quad (3)$$

gdje je:

n_{nep} - iznos nepostignutih okretaja glavnog motora zbog propterećenja, min^{-1} ,

n_{pos} - najveći postignuti okretaji glavnog motora u preopterećenju, min^{-1} ,

P - uspon postojećega vijka.

Prema izrazu (4) izlazi:

$$\Delta P_{kor-} = \frac{114}{1.486} \cdot 1.500 \cdot 1,5$$

$$\Delta P_{kor-} = 172,6 \text{ mm}$$

Prema ovoj metodi uspon je potrebno smanjiti za 172,6 mm, što se zaokružuje na **180 mm**. Prema iskustvenim rezultatima korekcija vijaka (A. Marković) ova se metoda odabire kao najvjerodostojnija. S obzirom na to da iz tehnoloških razloga nije moguće smanjivati uspon vijka, za isti se iznos smanjuje promjer vijka.

Izvor: Računalni program *Seapower / Wageningen B Screw Series*

S pomoću programa može se odabrati optimalan vijak. Međutim, to vrijedi samo za projektiranje novoga vijka. Kad se uzme u obzir D postojećeg vijka i A_E/A_O , dolazi se do vijka kojemu je uspon manji od uspona postojećega. Rezultat potvrđuje da je postojeći vijak „pretežak“. Osnovna namjena ovakva proračuna je odabir optimalnog vijka, a ne korekcija postojećega, i njime se približno možemo poslužiti za određivanje potrebne korekcije, koja je predviđala smanjivanje uspona u iznosu od **156 mm**.

$$D_k = D_p - \Delta P_{kor-} \quad (4)$$

gdje je:

D_k - promjer korigiranoga vijka, mm,

D_p - promjer postojećega vijka, mm.

Karakteristike vijka nakon korekcije bit će:

- promjer $D_k = 1.770$ mm,

- uspon $P = 1.500$ mm.

Krila postojećega vijka podrezuju se za 90 mm.

Na osnovi empirijskih formula *Wageningen Institute* moguće je odrediti korekciju uspona vijka na osnovi iznosa nepostignutih okretaja glavnog motora na pokusnoj plovidbi. Odnos okretaja glavnog motora i uspona vijka može se predočiti izrazom:

$$1\% \text{ više okretaja} = 1,5\% \text{ manji uspon} \quad (1)$$

Najviše postignutih okretaja glavnoga motora u preopterećenju iznosilo je 1.486 min^{-1} . Smanjivanje uspona vijka ΔP_{kor-} , mm dano je izrazom:

$$\Delta P_{kor-} = \frac{(n_{nom} - n_{pos})}{n_{nom}} P \quad 1,5 \quad (2)$$

gdje je:

n_{nom} - nominalnom broj okretaja glavnog motora, min^{-1} ,

n_{pos} - najveći postignuti broj okretaja glavnoga motora u preopterećenju,

P - uspon postojećega vijka.

Prema izrazu (2) dobiva se:

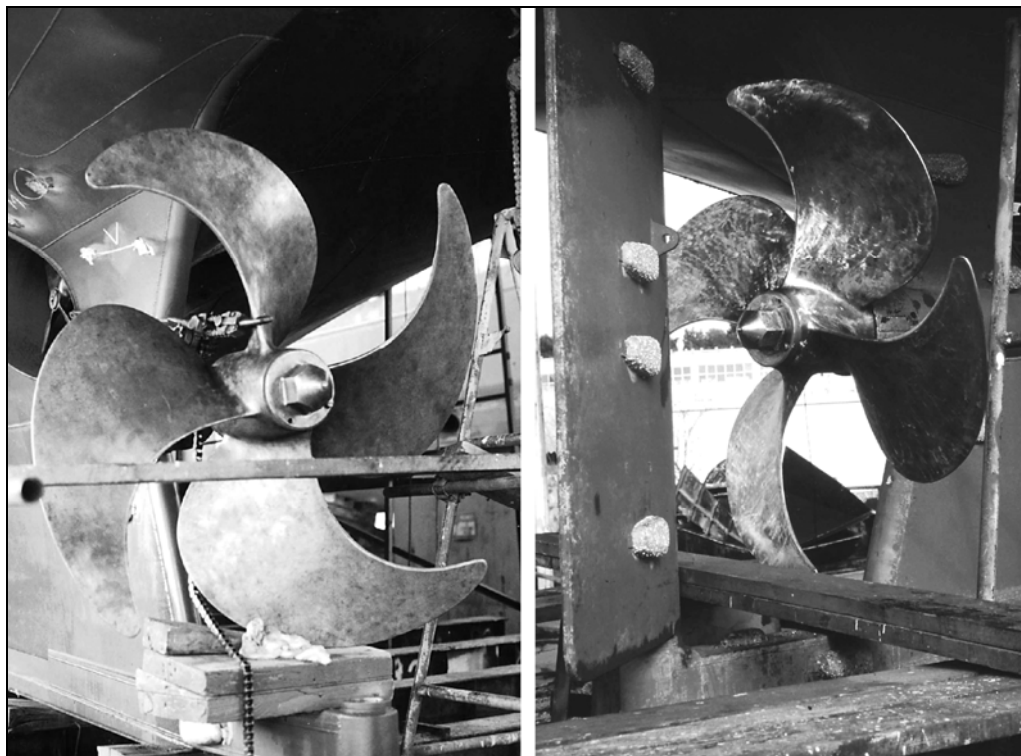
5.2. Korekcija vijka

Correction of the Propeller

Korekcija vijka može se izvesti smanjivanjem njegova uspona uz pomoć butan-propan plinskih grijača i uz poštovanje propisane tehnologije i temperature zagrijavanja materijala. Za nikal-aluminijsku broncu,

materijal od kojega je napravljen postojeći vijak, potrebno je postići 760 °C. Zbog nemogućnosti smanjivanja uspona odabran je manje zahtjevan tehnološki postupak smanjenja promjera vijka, to jest podrezivanja krila. Korekciju je ipak bolje izvoditi smanjivanjem uspona nego promjera jer pri smanjivanju promjera ispod optimalnoga pada koeficijent iskoristivosti vijka. Vijak je demontiran i mjeranjem je provjeren promjer i uspon. Nakon toga posebno su napravom označene linije rezanja na

krilima. Rezalo se rotacijskom kutnom brusilicom. Na odrezanim mjestima krila su obrušena u području 100 mm od vrha kako bi se bridovi doveli na debljinu kakva je bila na postojećem vijku. Provedeno je ispoliranje i statičko balansiranje. Nakon korekcije masa je vijka smanjena za ~ 21 kg, te je iznosila 529 kg. Na slikama 2.a i 2.b je brodski vijak prije korekcije i nakon nje, dok je na slici 3. prikazan odrezani segment vijka jednoga krila.



Sl. 2.a Izgled vijka prije korekcije
Sl. 2.b Izgled vijka nakon korekcije

Fig. 2a. The Appearance of the Propeller before the Correction
Fig. 2b. The Appearance of the Propeller after the Correction



Sl. 3. Odrezani segment vijčanog krila
Fig. 3. Cut segment of a propeller blade

6. Ispitivanja porivnog sustava nakon prilagodbe vijka

The Examination of the System of Propulsion after the Adaptation of the Propeller

6.1. Ispitivanja na pokusnoj plovidbi

The Examination on the Trial Voyage

Rezultati ispitivanja na pokusnoj plovidbi nakon prilagodbe vijka prikazani su u tablici 5.

Ispitivanja su upućivala na uspješnu korekciju vijka. Umjesto nominalnih 1.600 min⁻¹ postignuto je 1.586 min⁻¹, za razliku od 1.300 min⁻¹ prije korekcije. Iako nije postojala mogućnost mjerenja snage motora, na temelju analiza ispitivanja utvrđeno je znatno rasterećenje glavnoga motora.

Tablica 5. Ispitivanja porivnog sustava nakon korekcije vijka

Table 5. The examination of the system of propulsion after the correction of the propeller

Ispitivanja porivnog sustava na pokusnoj plovidbi nakon korekcije vijka								Barom. tlak, mbar	1.028	
								Temperatura zraka, °C	17	
Broj okretaja min ⁻¹	700	800	900	1.000	1.100	1.200	1.300	1.400	1.500	1.586
Temp. slatke vode iza rashladnika, °C	36	36	37	39	41	46	53	57	64	70
Temp. slatke vode, izlaz lijevo, °C	73	74	75	75	76	76	76	76	80	84
Temp. slatke vode, izlaz desno, °C	74	76	77	77	77	78	78	78	83	85
Tlak slatke vode, bar	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2
Tlak morske vode, bar	0,3	0,4	0,41	0,48	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85
Temp. morske vode, °C	18	18	18	18	18	18	19	19	19	19
Temp. ulja, izlaz iz motora, °C	76	76	76	77	81	83	84	88	90	93
Tlak ulja motora, bar	4,1	4,6	4,8	5	5,2	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8
Tlak ulja reduktora, bar	24	24,1	24,3	24,6	25	25,2	25,5	26	26,3	26,7
Temp. zraka na usisu u motor, °C	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20
Temp. zraka ispred rashlad. lijevo, °C	27	28	30	34	42	54	72	94	125	141
Temp. zraka ispred rashlad. desno, °C	27	28	30	34	42	54	72	94	125	140
Temp. zraka iza rashlad. lijevo, °C	70	71	71	72	72	72	73	74	82	86
Temp. zraka iza rashlad. desno, °C	70	71	71	72	72	72	72	74	80	86
Povratni tlak ispuha, mm SV	0	0	0	0	0	10	10	30	30	40
Tlak ispirnog zraka iza rash. lijevo, bar	0	0	0,1	0,12	0,2	0,32	0,52	0,7	1,1	1,3
Tlak ispirnog zraka iza rash. desno, bar	0	0,04	0,1	0,12	0,2	0,32	0,5	0,68	1,15	1,28
Temp. ispuha ispred tp. lijevo, °C	240	265	295	335	385	435	470	500	550	580
Temp. ispuha ispred tp. desno, °C	235	255	290	335	390	440	470	500	555	590
Zajednička temp. ispuha iza tp., °C	210	235	265	295	335	380	400	410	440	460
Brzina broda, čv	5,6	6,9	7,6	8,4	9,3	10	10,7	11	11,3	11,5

Stanje trupa	čist	Stanje mora, ~	1	Gaz pramac/kрма	2/3,3
Stanje vijka	čist	Stanje vjetra, Bfs ~	2	Dubina mora, m ~	80

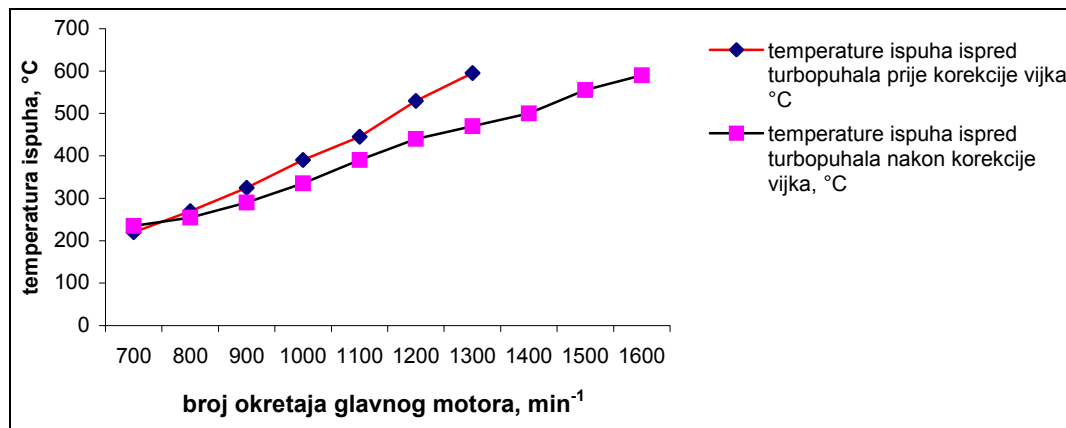
Izvor: Obradili autori prema podacima ispitivanja s pokusnih plovidba.

6.2. Analize ispitivanja

The Analysis of the Examination

Na dijagramu 1. prikazan je dijagram usporedbe temperatura ispušnih plinova ispred turbopuhala prije korekcije vijka i nakon nje. Vidi se znatno sniženje

temperatura ispuha nakon korekcije. Razlika je temperatura veća s porastom broja okretaja. Temperature ispod 900 min^{-1} nisu mjerodavne za usporedbu jer su na tom režimu rada motora tlakovi ispirog zraka gotovo identični s atmosferskim tlakom. Na 1.300 min^{-1} razlika temperatura ispuha iznosi $125 \text{ }^\circ\text{C}$.



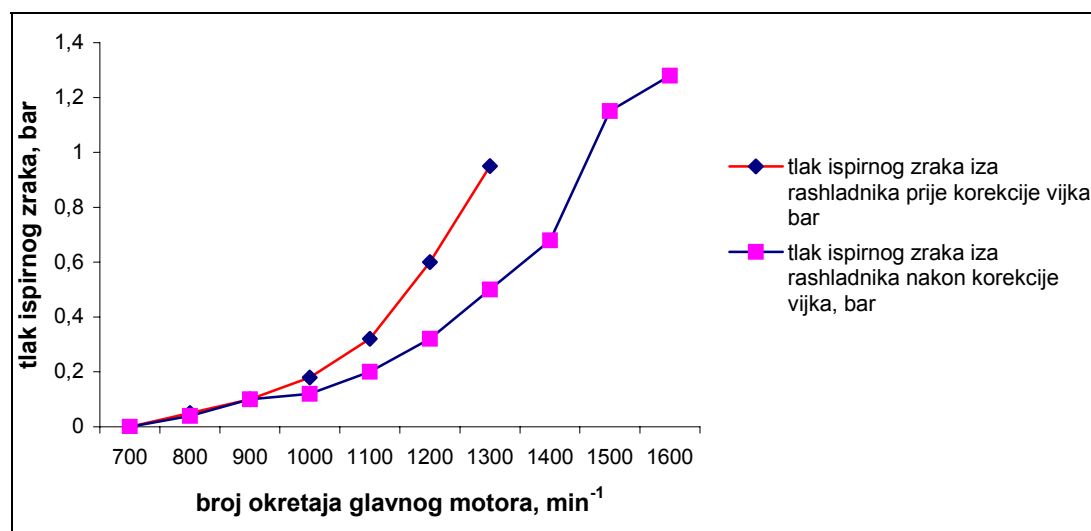
Dijagram 1. Usporedba temperatura ispuha prije korekcije vijka i nakon nje

Diagram 1. The comparison of the temperature of the exhaust before and after the correction of the propeller

Izvor: Obradili autori.

Sljedeći podatak iz kojega se može predočiti opterećenje motora je tlak ispirog zraka. Normalno je da više opterećen motor ima više tlakove nabijanja, dakle više srednje efektivne tlakove, što dovodi do povećanja termičkih i mehaničkih opterećenja. Dijagram 2. prikazuje usporedbu tlakova ispirog zraka prije korekcije vijka i nakon nje. Razlike se kao i kod temperatura ispuha

povećavaju s porastom broja okretaja. Na 1.300 min^{-1} razlika tlakova ispirog zraka iznosi $0,45 \text{ bara}$, što znači da je nakon korekcije motor manje opterećen. Najviši postignuti tlak ispirog zraka nakon korekcije vijka je veći i iznosi $1,28 \text{ bara}$ (u odnosu prema $0,95$ prije korekcije). To je postignuto rasterećenjem motora, koji s korigiranim vijkom postiže veći broj okretaja.



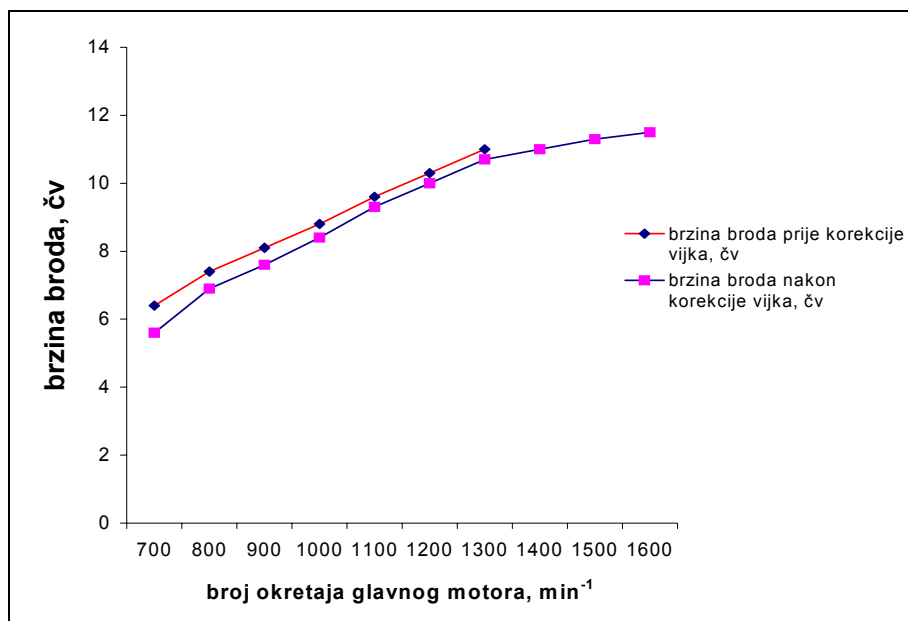
Dijagram 2. Usporedba tlakova ispirog zraka prije korekcije vijka i nakon nje

Diagram 2. The comparison of the pressures of the rinsing air before the correction of the propeller and after it

Izvor: Obradili autori.

Smanjenjem promjera vijka smanjena je i porivna sila koja nadvladava silu otpora pri danoj brzini broda. Smanjivanje porivne sile ima za posljedicu gubitak brzine broda. U konkretnom primjeru izvršena je veća korekcija

promjera i motor je uspješno rasterećen. Zanimljiva je analiza brzina broda prije korekcije i nakon nje, koja je prikazana dijagramom 3.



Dijagram 3. Usporedba brzina broda prije korekcije vijka i nakon nje

Diagram 3. The comparison of the velocities of the vessel before and after it

Izvor: Obradili autori.

Brzina je broda neznatno smanjena pri istim režimima rada motora. Na 1.300 min⁻¹ razlika iznosi samo 0,3 čv, na 1.200 min⁻¹ razlika je 0,4 čv. Najveća postignuta brzina prije korekcije bila je 11 čv, dok je nakon korekcije iznosila 11,5 čv. Povećanje najveće brzina s vijkom koji ima manju porivnu silu postignuto je rasterećenjem motora, koji nakon korekcije može postići veći broj okretaja.

7. Zaključak

Conclusion

Provedena mjerenja i analize u pokusnoj plovidbi prije korekcije vijka i nakon nje potvrđuju uspješno izveden postupak korekcije i opravdanost izvođenja primijenjene metode korekcije. Glavni motor više ne radi s preopterećenjem, a maksimalna je brzina broda povećana.

Prema procjeni autorâ, na hrvatskoj strani Jadranskoga mora plovi oko 25% manjih brodova (do 300 GT) s pogrešno odabranim vijcima. Takvi brodovi često nemaju ni ugrađene najosnovnije instrumente kojima bi se dijagnosticiralo preopterećenje motora. Rad s primjerice „preteškim“ vijkom preopterećuje glavni motor i uništava vitalne sklopove, što ima za posljedicu skupi generalni remont glavnoga motora.

Ispravnim dijagnosticiranjem stanja porivnog sustava, proračunom broskog vijka s pomoću navedenih empirijskih metoda i tehnološkim zahvatima korekcije

uspona ili kraćenja vijka moguće je polučiti velike uštede pri rješavanju problema pogrešno odabranoga vijka.

Literatura

References

Knjige

Books

1. Bosnić, A., *Osnivanje broda*, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1981.
2. Harrington, R. L.: *Marine Engineering*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, 1992
3. Lovrić, J., *Osnove brodske terotehnologije*, Pomorski fakultet Dubrovnik, Dubrovnik, 1989.
4. Taggart, R., *Ship Design and Construction*, The Royal Institution of Naval Architects, London, 1980

Članci

Articles

5. Belamarić, I., „O broskoj propulziji“ (2), U korak s vremenom, broj 23. Udruga pomorskih strojara Split, str. 9-15, Split, 2001.
6. Belamarić, I., „O broskoj propulziji“ (3), U korak s vremenom, broj 24. Udruga pomorskih strojara Split, str. 10-13, Split, 2001.

7. Jelavić, V., Kurtela Ž., „Students Training onboard Training Vessel *Naše more*“, International Conference Of Engineering Education, Session 7B pp. 6-11, Oslo, 2001
8. Kurtela, Ž., „Rekonstrukcija školsko-istraživačkog broda *Naše more*“, *Naše more*, broj 3-4/99, str. 79-88, Dubrovnik, 1999.
9. Marković, A., „Popravci brodskih vijaka u brodogradilištu *Viktor Lenac* Rijeka“, Brodogradnja, broj 49 (2001) 3, str. 323-326, Zagreb, 2001.
10. Van Manen, J. D., „Fundamentals of Ship Resistance and Propulsion“, Publication No. 132 of the NSMB, Wageningen, 1984
11. Kurtela, Ž., *Projektni zahtjev i specifikacija radova rekonstrukcije broda*, Pomorski fakultet u Dubrovniku, Dubrovnik, 1997.
12. Marine Project Guide, *Wartsila Diesel*, Surgeres, 1995
13. Operating and Maintenance Manual UD 25, *Wartsila Diesel*, Surgeres, 1995
14. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 7. Strojni uređaj, Hrvatski registar brodova, Split, 1996.
15. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 9. Strojevi, Hrvatski registar brodova, Split, 1996.
16. Projektna dokumentacija rekonstrukcije ribarskog broda ex. *Ligny secondo* u školsko-istraživački brod *Naše more*, Brodarski institut Zagreb, Zagreb, 1996.-1998.
17. Računalni program *Seapower / Wageningen B Screw Series*
18. Remy Barree, *Reducteurs Marins*, Saint Etienne, 1988
19. Tehnička dokumentacija *Naše more*, Remontno brodogradilište Šibenik, Šibenik, 1999.
20. Workshop Manual UD 25 12 V, *Wartsila Diesel*, Surgeres, 1995
21. Zaključni zapisnik o izvedenim radovima rekonstrukcije ribarskog broda ex. *Ligny secondo* u školsko-istraživački brod *Naše more*, Remontno brodogradilište Šibenik, Šibenik, 1999.

Rukopis primljen: 13. 6. 2007.

Želite li

prednost u moru konkurencije?

Oglasite se u časopisu *Naše more*!

www.nasemore.com