

PRILOG ISTRAŽIVANJU KORELACIJE KOD PROPULZIJSKIH ISPITIVANJA NA BRODOVIMA

Sažetak

Na primjerima ispitivanja propulzije u naravi na seriji od dvanaest brodova prikazana je točnost propulzijskih mjerenja kako ih provodi Brodarski institut. Serija je građena u naša četiri velika brodogradilišta (Brodotrogir, 3 Maj, Brodosplit i Uljanik). Ispitivanja su provedena na balastu (10 brodova) i punom gazu (2 broda). Na jednoj plovidbi korigirani su rezultati zbog utjecaja vjetra (prema Isherwoodu), a na jednoj za utjecaj stanja mora. Usporedba rezultata ispitivanja u naravi, sa rezultatima prognoze u bazenu mogu pomoći u određivanju korelacijskih koeficijenata za neke buduće prognoze brodova sličnih tipova.

Ključne riječi: mjerenje u naravi, korelacija

A CONTRIBUTION TO RESEARCH CORRELATION IN THE PROPULSION ON THE SEA TRIAL

Summary

Through examples propulsion tests on the measured mile on the twelve sisters ship were showed accurate propulsion measurements, which is carried out in the Brodarski Institute practice. This Series is built in our four big Shipyard (Brodotrogir, 3 Maj, Brodosplit and Uljanik). The tests are carried out on the ballast load (10 ships) and on full load (2 ships). On the one trial were corrected results for wind influences (according Isherwood method) and on the other one for sea state influences. Sea trial results and model test results comparison could help to determine correlation for some future prediction similar ships type.

Key words: full scale measurement, correlation

1. Uvod

Ispitivanje na brodovima u naravi osim potvrde ugovorenih plovidbenih karakteristika broda služi i za obogaćivanje baze podataka u svrhu što pouzdanijeg prognoziranja brzine broda. Da bi se ovo ispunilo važno je standardizirati provođenje pokusa, propisivanjem procedura mjerenja, upotrebljavati kvalitetne mjerne instrumente, te upotrebljavati adekvatne alate za analizu provedenih pokusa.

BI je propisao procedure za praktično provođenje mjerenja propulzijskih karakteristika broda, a te procedure su u skladu sa preporučenim ITTC procedurama. Kroz iskustvo u provođenju pokusa u BI-u se provodi i dogradnja procedura za ispitivanje u naravi prema stupnju razvoja korištene mjerne tehnike.

Usporedba rezultata mjerenja na dvanaest brodova ispitanih u naravi pokazat će dobro podudaranje između trupova i vijaka na "jednakim" brodovima. Također će se navesti neke faktore koji utječu na točnosti ispitivanja u naravi, te dati smjernice za poboljšanja.

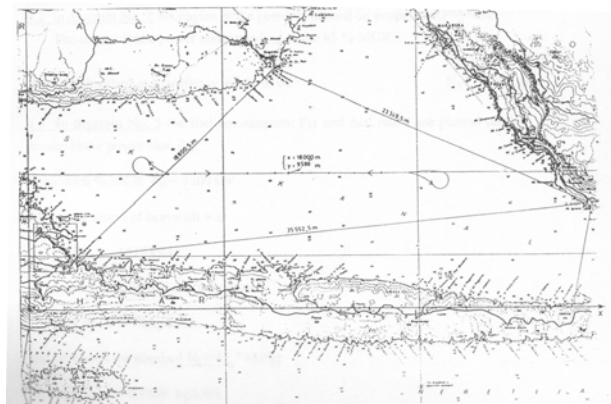
2. Provedene pokusne plovidbe

Tijekom primopredaje dvanaest brodova iz serije provedena su i propulzijska ispitivanja. Deset tankera ispitano je u balastu, a dva na punom gasu. Vrijednosti rezultata mjerenja na jednom brodu korigirane su za utjecaj vjetera po metodi ISHERWOOD [3], a jedne za utjecaj valova po metodi iz [4]. Vremenski uvjeti pri pokusnim plovidbama ostalih 10 brodova bili su dobri, pa ih nije trebalo korigirati. Dubina mora je prema kriterijima DNV-a bila dovoljna za ispitivanja navedenih novogradnji tako da nisu bile potrebne korekcije za plitku vodu.

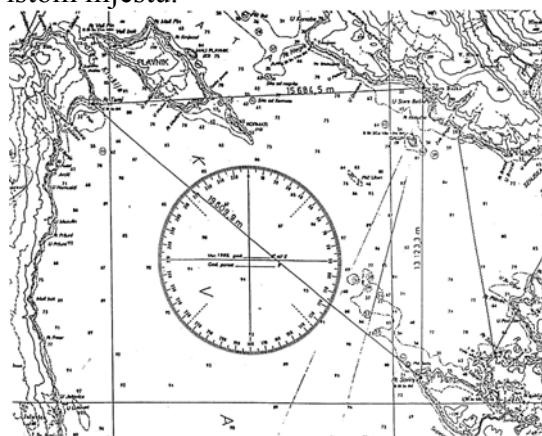
Pokusi su provedeni na tri lokacije (tri mjerna poligona), koja je svojedobno BI definirao kao mjesta gdje će se provoditi pokusne plovidbe:

1. Brodovi građeni u Brodotrogiru i Brodosplitu na Poligonu Hvarski kanal.
2. Brodovi građeni u Brodogradilištu 3 Maj na Poligonu Cres.
3. Brodovi građeni u Brodogradilištu ULJANIK na Poligonu Pula.

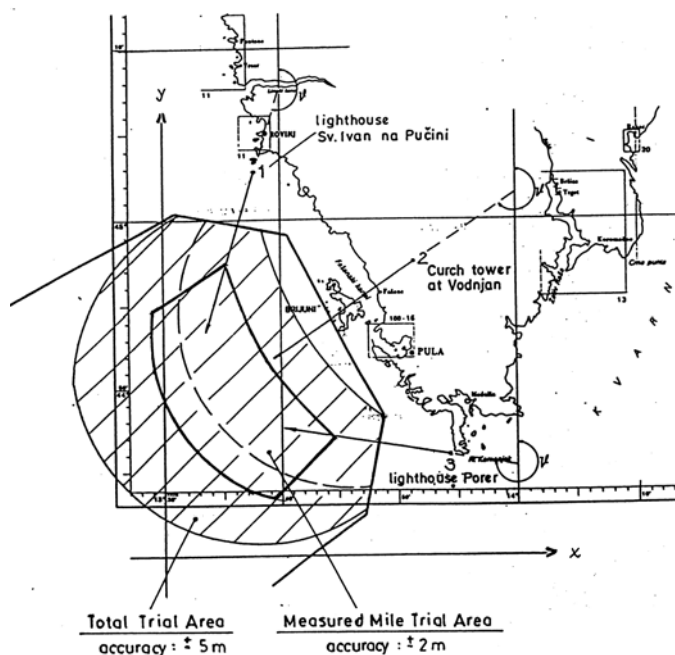
Tijekom provođenja pokusa na mjernoj milji brodovi su imali zalet od najmanje pet milja kako bi postigli približno ustaljenu brzinu kod narinutih okretaja stroja. Obzirom na upotrebljenu opremu (RACAL Microfix system za pozicioniranje broda) mjerenje je na pojedinim poligonima za sve brodove obavljeno na istom mjestu.



Slika 1. Poligon Hvarski kanal



Slika 2. Poligon Cres



Slika 3. Poligon Pula

Prognoza proračunata na bazi bazenskih ispitivanja modela broda M-1151 s modelom vijka V-991 za 90% MCR, što odgovara $P_B=7480$ kW, prikazana je u Izvještajima [1] i [2]. Za dva stanja krcanja prognozirane su sljedeće vrijednosti:

Tablica 1. Prognozirane brzine broda i brzine vrtnje vijka

Table 1 Predicted ship and propeller rotation speed

Gazovi	V_{PROG} čv	N_{MPROG} min^{-1}	Δ t
$T_F/T_A=10.00/10.00$ m	15.08	122.4	45108
$T_F/T_A=6.80/7.20$ m	15.34	121.2	30659

3. Točnost mjerenja

Mjerne veličine se na pokusnim plovidbama mjere sa sljedećom procijenjenom točnošću:

- Brzina broda (RACAL Microfix sustavom za pozicioniranje) ± 0.02 čv. Što na brzinama od 15 čvorova iznosi ± 0.1333 %
- Brzina vrtnje stroja se mjeri sa točnošću od ± 0.1 %
- Snaga na osovini ako je poznat modul smika (koji ulazi u proračun snage) mjeri se sa ± 1 %, a ako se prema kemijskom sastavu materijala procijeni modul smika onda se snaga računa sa ± 2 %

U tablici 2. prikazane su osnovne značajke svih 12 brodova iz BI izvještaja [5].

Na slikama 4-7 prikazani su Usporedbeni dijagrami brodova ispitanih u naravi koji su grupirani oko istisnine na balastu te istisnine na punom gasu. Slike 4. i 5. pokazuju ovisnost snage na zamašnjaku o brzini broda, a Slike 6 i 7 ovisnost snage na zamašnjaku o brzini vrtnje stroja. Izmjerene brzine broda za balastno stanje kreću se u rasponu od 15.48 ± 0.02 čv do 15.78 ± 0.02 čv kod 90% MCR što odgovara 7480 kW. Brzine vrtnje stroja koje odgovaraju 90 % MCR za balastno stanje kreću se od $119.5 \pm 0.12 \text{ min}^{-1}$ do $123.2 \pm 0.12 \text{ min}^{-1}$. Kod pune istisnine (mjerenja su obavljena na dva broda) izmjerene su brzine od 14.91 ± 0.02 čv i 15.10 ± 0.02 čv. Brzina od 14.91 ± 0.02 čv korigirana je po metodi ISHERWOOD za utjecaj vjetra te je porasla na 15.01 čv. Brzina vrtnje stroja na punoj istisnini bila je $120.6 \pm 0.12 \text{ min}^{-1}$ i $122.9 \pm 0.12 \text{ min}^{-1}$.

Interesantno je pogledati u normiranom obliku što se dešava sa izmjerenim vrijednostima brzine broda i brzine okretanja stroja prema prognoziranim vrijednostima u bazenu. U ovoj analizi kao apscisa su uzete vrijednosti normirane istisnine.

Na slikama 8 i 9 prikazana su normirana odstupanja brzine broda i brzina vrtnje stroja na bazi normirane istisnine gdje su grafički prikazane vrijednosti iz zadnja tri stupca Tablice 2. Maksimalno je odstupanje od prognozirane brzine $\pm 2.9\%$, a maksimalno odstupanje brzine vrtnje stroja od prognozirane $\pm 1.7\%$.

Grupiranje rezultata oko 100% normirane istisnine 100% normirane brzine broda i normirane brzine vrtnje stroja pokazuje točnost prognožiranja brzine broda i brzine vrtnje stroja na promatranih dvanaest brodova.

Spearmanova rangirana korelacija daje za odnos normirane istisnine u odnosu na normiranu brzinu broda vrijednost -0.16 , a za odnos normirane istisnine prema normiranoj brzini vrtnje stroja 0.32 , čime se pokazuje ovisnost ovih dviju veličina o istisnini broda.

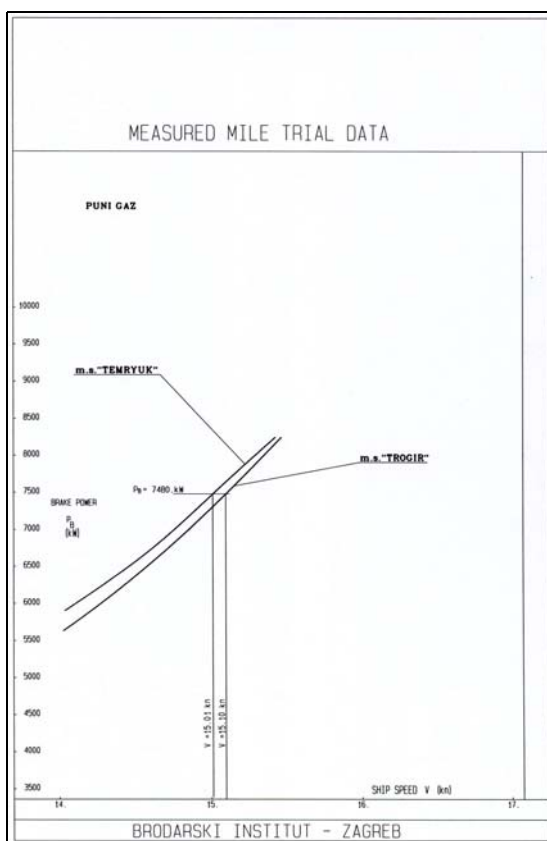
Normiranje se provelo prema slijedećim izrazima:

$$\delta\Delta = \frac{\Delta_{PP}}{\Delta_{PROG}} \cdot 100 \quad \% \text{ -za istisninu}$$

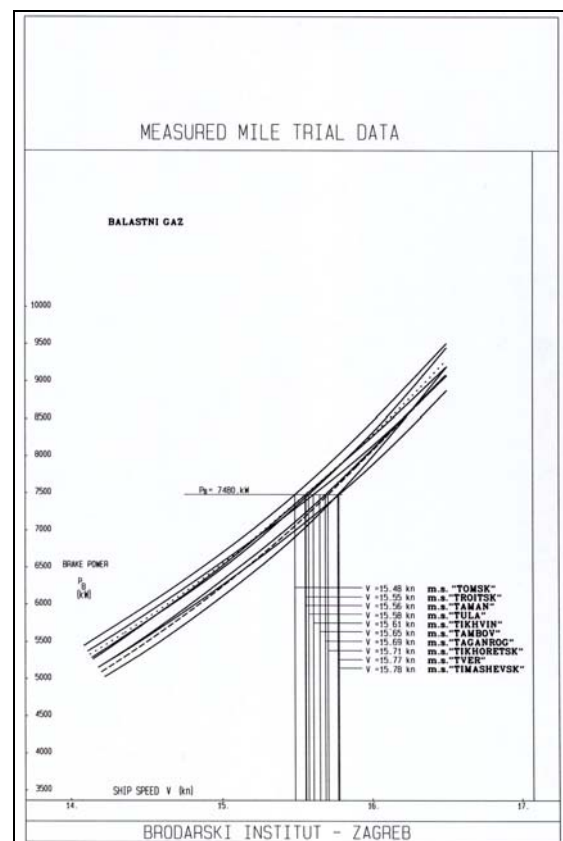
$$\delta V = \frac{V_{PPcorr}}{V_{PROG}} \cdot 100 \quad \% \text{ - za brzinu broda}$$

$$\delta N_M = \frac{N_{MPPcorr}}{N_{MPROG}} \cdot 100 \quad \% \text{ - za brzine vrtnje stroja}$$

gdje je indeks **PP** oznaka za pokusnu plovidbu, a indeks **PROG** za prognozu u bazenu.



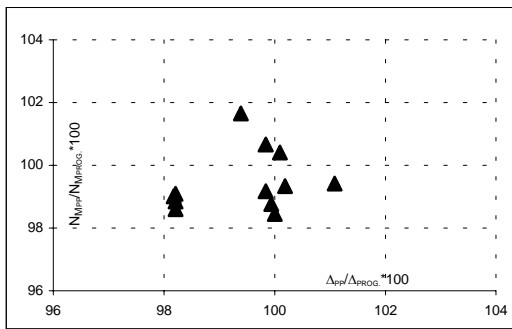
Slika 4. Usporedbeni dijagrami brodova



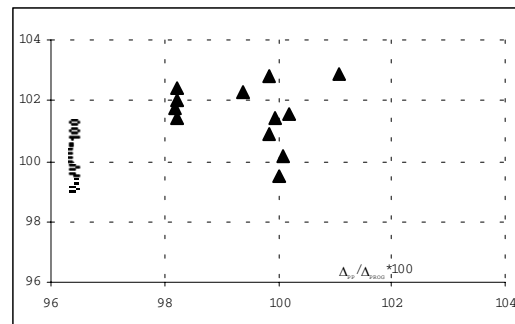
Slika 5. Usporedbeni dijagrami brodova

Tablica 2. Prikaz osnovnih karakteristika ispitivanih brodova
Table 2. Tested ships' main particulars review

I zv.br.	IME BRODA	GRA DNJA BROJ	BRODOGRADI LIŠTE	T P	T K	Is tisnina	V PP	V PPcorr	N M	N Mcorr	V %	N %
				r	r	t	v	v	in ⁻¹	in ⁻¹	%	%
5 294-B	TROGIR	217	R BRODOTROGI	.94	.97	4 5150	5.10	5.1	22.9	22.9	00.1	00.4
5 321-B	TAMAN	414	ULJANIK	.73	.23	3 0639	5.56	5.56	19.7	19.7	9.9	8.8
5 324-B	TAGAN ROG	218	R BRODOTROGI	.76	.17	3 0472	5.69	5.69	23.2	23.2	9.4	01.7
5 325-B	TEMRY UK	669	3 MAJ	0.00	0.00	4 5108	4.91	5.01	20.6	20.5	00	8.4
5 336-B	TIKHOR ETSK	415	ULJANIK	.80	.20	3 0110	5.71	5.71	20.1	20.1	8.2	9.1
5 337-B	TAMBO V	389	BRODOSPLIT	.80	.20	3 0110	5.65	5.65	19.5	19.5	8.2	8.6
5 346-B	TIMAS HEVSK	670	3 MAJ Rijeka	.93	.20	3 0990	5.78	5.78	20.5	20.5	01.1	9.4
5 348-B	TVER	219	R BRODOTROGI	.80	.20	3 0610	5.77	5.77	22.0	22.0	9.8	00.7
5 349-B	TROITS K	416	ULJANIK	.80	.20	3 0110	5.65	5.56	20.1	19.8	8.2	8.8
5 350-B	TIKHVI N	390	BRODOSPLIT	.80	.15	3 0100	5.61	5.61	20.0	20.0	8.2	9.0
5 354-B	TULA	671	3 MAJ	.81	.18	3 0716	5.58	5.58	20.4	20.4	00.2	9.3
5 363-B	TOMSK	220	R BRODOTROGI	.78	.23	3 0610	5.48	5.48	20.2	20.2	9.8	9.2



Slika 8. Normirana brzina broda kao funkcija normirane istisnine
Fig. 8 Normed ship speed as a function of normed displacement



Slika 9. Normirana brzina vrtnje kao funkcija normirane istisnine
Fig. 9 Normed rotation speed as a function of normed displacement

4. Zaključak

Mjerenje propulzijskih karakteristika na pokusnim plovidbama predstavlja područje interesa kako za brodovlasnika, ali i brodogradilište kojim se potvrđuje da brod ispunjava ugovorne plovidbene karakteristike. U okviru toga potrebno je zadržati neovisnost u mjerenju i interpretaciji rezultata mjerenja. Iz analiziranih dvanaest pokusnih plovidbi može se zaključiti slijedeće:

- prognoza je "pogođena" sa odstupanjem od max. $\pm 2.9\%$ od izmjerenih vrijednosti što se tiče brzine broda.
- Brzina vrtnje stroja prognozirana je sa nešto većom točnošću od max. $\pm 1.7\%$,
- Istisnina na pokusnoj plovidbi obzirom na istisninu za koju su napravljene prognoze razlikovala se max. $\pm 1.8\%$.
- Izmjerena brzina vrtnje stroja se obzirom na promatranu snagu na zamašnjaku motora (90% MCR što odgovara 7480 kW) grupiraju oko dvije vrijednosti jedna se nalazi oko 120 min^{-1} , a druga na oko 122.5 min^{-1} .

Za dodatno pojašnjenje treba naglasiti slijedeće. Kod nabave propelera za ovu seriju brodova nabava i isporuka propelera je organizirana dinamikom (2+10), jer su tako potpisivani ugovori za gradnju brodova. Izmjerene vrijednosti brzine vrtnje stroja kod propelera naručenih u grupi od dva komada grupiraju se oko 122.5 min^{-1} , dok narudžba od deset propelera ima svoje grupiranje oko 120 min^{-1} . Odstupanje jednog mjerenja iz serije od deset propelera tumači se omaškom mjeritelja.

U radu se željelo pokazati kako na brzinu broda, brzinu vrtnje stroja kod raznih brodova sestra utječu odstupanja u izradi propelera, trupova brodova, ... Apsorpcija snage bi za jednake okretaje stroja za jednake trupove trebala biti jednaka. Ona nije jako ovisna o istisnini (deplasmanu broda). Kod mjerenja brzine vrtnje stroja grupiranje za osam od deset brodova u balastu su za 90 % MCR na oko 120 min^{-1} . Dva broda imaju veću brzinu okretaja stroja za 90 % MCR. Jedan od njih je iz prve narudžbe propelera, a kod drugog je došlo do greške u mjerenju, te krive interpretacije rezultata.

Rasipanje izmjerene brzine broda je nešto veće. No na izmjerenu brzinu broda uz uvijek prisutne posebnosti svakog broda, ima utjecaja i akvatorij na kojem su izvršena mjerenja. No treba naglasiti onu s početka spomenutu činjenicu da je serija od dvanaest brodova građena u četiri zasebna brodogradilišta pa i to ima upliv na mjerne rezultate.

U svakom slučaju analizi izmjerenih rezultata treba pažljivo pristupiti, mjereći svaku veličinu, te vodeći računa o njezinoj točnosti kako se ne bi donio krivi zaključak.

Provedena analiza samo je dio sustavnog praćenja u BI karakteristika izvedenih brodova kako bi se pripomoglo izgrađivanju korelacije, te i dalje poboljšavalo prognoze.

ZNAKOVI I SIMBOLI

T_K	(m)	gaz na krmenoj okomici
T_P	(m)	gaz na pramčanoj okomici
Δ	(t)	istisnina
N_M	(min^{-1})	brzina vrtnje stroja
P_B	(kW)	Kočena snaga na zamašnjaku motora
V	(kn)	brzina broda

LITERATURA

- [1] G.Semijalac: "Resistance, propulsion and wake measurements tankers-Russian programme Ship model:M-1151, propeller model: V-991", Tehnički izvještaj BI-broj 5271-M, 1994.
- [2] G.Semijalac: "Resistance and propulsion measurements (Additional) tankers-Russian programme Ship model:M-1151, propeller model: V-991", Tehnički izvještaj BI-broj 5288-M, 1995.
- [3] R.Bhattacharyya, "Dynamics of marine vehicles", A Wiley-Interscience publication, 1972.
- [4] R.M. Isherwood, "Wind resistance of merchant ships", RINA 28, 1973.
- [5] "Reports on a measured mile trial data", Nr. 5294-B, Nr. 5321-B, Nr. 5324-B, Nr. 5325-B, Nr. 5336-B, Nr. 5337-B, Nr. 5346-B, Nr. 5348-B, Nr. 5349-B, Nr. 5350-B, Nr. 5354-B, Nr. 5363-B, Zagreb