

mr. sc. Danko Gugić, dipl. ing, Sortina 55, Zagreb
Irena Kota, dipl. ing, Brodarski institut d.o.o., Av. V. Holjevca 20, Zagreb

PRELIMINARNO ODREĐIVANJE SNAGE POGONSKOG STROJA TRGOVAČKIH BRODOVA PUNIH FORMI

Sažetak

Cilj referata je definiranje praktičnog modela za određivanje snage pogonskog stroja trgovačkih brodova punih formi u fazi preliminarnog projekta. Ovaj model treba povezati glavne značajke broda i pogonskog stroja. Razmatrani su modeli složeni od izraza za efektivne snage i ukupni stupanj propulzije te modeli koji su produkt potencija glavnih značajki broda. Snage izračunate po razmatranim modelima uspoređene su sa snagama ugrađenih pogonskih strojeva na tankerima i bulk carrierima te sa snagama određenim pomoću regresijskih izraza Holtropa i Mennena. Odabrana su dva od devetnaest razmatranih modela. Prvi model povezuje dužinu, širinu, gaz, istisninu i brzinu sa snagom pogonskog stroja a drugi uzima u obzir još i broj okretaja vijka. Granice 3σ intervala pouzdanosti za prvi model su -9.29% i 9.19% a za drugi model -5.56% i 5.53% u odnosu na snage određene pomoću regresijskih izraza Holtropa i Mennena.

Ključne riječi: snaga pogonskog stroja, preliminarni projekt, trgovački brodovi punih formi

MAIN ENGINE POWER OF FULL BODY MERCHANT SHIPS PRELIMINARY ESTIMATION

Summary

The goal of this paper is to define a practical model for calculating main engine power for full body merchant ships during preliminary design. Model sought for establishes relationship between ship's main characteristics and the power of the main engine. Models that were considered include those that consist of formulae for effective power and total propulsive efficiency, but also models that are a function of product of powers of main ship's characteristics. The values of the main engine power that were calculated according to considered models were consequently compared with the values of the main engines on existing tankers and bulk carriers, but also to values calculated according to Holtrop and Mennen method. Out of nineteen considered models two had been chosen as suitable. The first one gives the power of the main engine as a function of length, beam, draft, displacement and speed. The other one takes into consideration all those properties plus the number of revolutions of the propeller. The boundaries of the 3σ interval of reliability for the first model are -9.29% and 9.19%, and for the second model -5.56% and 5.53% in comparison to the values established through method provided by Holtrop and Mennen.

Key words: main engine power, preliminary design, full body merchant ship

1. Uvod

Cilj rada je praktičan i jednostavan model za određivanje snage pogonskog stroja trgovačkih brodova punih formi (model), koji se treba temeljiti na minimalnom skupu značajki broda: glavnim dimenzijama, istisnini, koeficijentu punoće, brzini i karakteristikama pogonskog stroja te biti pogodan za primjenu u fazi preliminarnog projekta. Korisnost modela predviđa se u pouzdanom određivanju snage pogonskog stroja radi procjene mase strojnog sustava i cijene pogonskog stroja u fazi preliminarnog projekta.

Već je u [1] pokušano naći pogodan model za tankere. Vrijednosti snaga pogonskog stroja određene po tom modelu uspoređene su sa snagama instaliranim na izgrađenim brodovima. Rezultati usporedbe nalagali su daljnja istraživanja. U [2] su analizirane metode određivanja otpora i nađen je uporabljiv model za izračun efektivne snage u fazi preliminarnog projekta. Ovaj model može se upotrebiti za određivanje snage pogonskog stroja ako je poznat ukupni stupanj propulzije η_d . Drugi način daju regresijski izrazi J. Holtropa i G. G. J. Mennena (HM), objavljeni u [3] do [6], s kojima se mogu izračunati snage pogonskog stroja. U ovom slučaju treba poznavati ili pretpostaviti podatke o brodu nepoznate u fazi preliminarnog projekta i treba odrediti vijak te koeficijente propulzije.

Postavljeni cilj pokušat će se postići izgradnjom i analizom dviju grupa modela. Modeli u grupi A izgradit će se od izraza za efektivnu snagu, [2], i objavljenih izraza za ukupni stupanj propulzije. U grupi B definirat će se modeli kao umnožak potencija glavnih značajki broda. Najefikasniji modeli, za pojedinu grupu modela i za obje grupe modela, odabrat će se analizom i uporedbom s vrijednostima snage ugrađenih pogonskih strojeva, na tankerima i brodovima za rasuti teret, te izračunatim vrijednostima snage pogonskih strojeva. Potonje vrijednosti odredit će se pomoću HM teorije, otpor i koeficijenti propulzije, i stupnja djelovanja vijka u slobodnoj vožnji η_o , koji će se odrediti prema [7].

Kao predstavnici trgovačkih brodova punih formi razmatraju se prije spomenuti tankeri i brodovi za rasuti teret, koji su sakupljeni u bazama [8], 238 tankera, i [9], 153 bulk carriera.

2. Modeli za određivanje snage pogonskog stroja

2.1. Modeli A

Efektivne snage otpora definirane su u [2] izrazom:

$$P_E = 0.00303L^{0.251}B^{0.633}T^{0.571}C_B^{1.26}V^{3.63} \quad (1)$$

Ukupni stupanj propulzije prema Emersonu, [10], Kelleru, [11], i Danckwardtu, [11], određuje se sljedećim izrazima:

$$\eta_{dE} = 0.83 - \frac{N\sqrt{L}}{10000} \quad (2)$$

$$\eta_{dK} = 0.0885 - 0.00012N\sqrt{L} \quad (3)$$

$$\eta_{dD} = 0.836 - 0.000165N\sqrt[6]{L} \quad (4)$$

Izrazi (2) do (4) primjenjivi su za vrijednosti N, broj okretaja vijka, manji od 300 okretaja u minuti.

Dijeljenjem efektivnih snaga otpora, izraz (1), s ukupnim stupnjem propulzije, izrazi (2) do (4), i mehaničkim stupnjem djelovanja $\eta_m = 0.985$ dobijena su tri modela grupe A.

$$\text{Model A1} \quad P_{BE} = \frac{3.03L^{0.251} B^{0.633} T^{0.571} C_B^{1.26} V^{3.63}}{830 - 0.1N\sqrt{L}} \quad (5)$$

$$\text{Model A2} \quad P_{BK} = \frac{3.03L^{0.251} B^{0.633} T^{0.571} C_B^{1.26} V^{3.63}}{885 - 0.12N\sqrt{L}} \quad (6)$$

$$\text{Model A3} \quad P_{BD} = \frac{3.03L^{0.251} B^{0.633} T^{0.571} C_B^{1.26} V^{3.63}}{836 - 0.165N\sqrt{\frac{1}{6}}} \quad (7)$$

2.2. Modeli B

Modeli ove grupe sazđani su od potencija glavnih dimenzija L, B, i T, koeficijenta punoće, istisnine i brzine. Tokom analize efikasnosti modela nađeno je poboljšanje uključenjem u modele potencije broja okretaja vijka. Tako su dobijene dvije podgrupe modela u grupi modela B:

- grupa modela bez broja okretaja vijka:

$$\text{Model B1.1} \quad P_B = a_1 [L + (2T + B)]^{a_2} V^{a_3} \quad (8)$$

$$\text{Model B2.1} \quad P_B = a_1 L^{a_2} (2T + B)^{a_3} V^{a_4} \quad (9)$$

$$\text{Model B3.1} \quad P_B = a_1 L^{a_2} (2T + B)^{a_3} \Delta^{a_4} V^{a_5} \quad (10)$$

$$\text{Model B4.1} \quad P_B = a_1 L^{a_2} B^{a_3} T^{a_4} V^{a_5} \quad (11)$$

$$\text{Model B5.1} \quad P_B = a_1 L^{a_2} B^{a_3} T^{a_4} \Delta^{a_5} V^{a_6} \quad (12)$$

$$\text{Model B6.1} \quad P_B = a_1 L^{a_2} B^{a_3} T^{a_4} C_B^{a_5} V^{a_6} \quad (13)$$

$$\text{Model B7.1} \quad P_B = a_1 L^{a_2} B^{a_3} T^{a_4} C_B^{a_5} V^{a_6} \left(1 - a \frac{L}{T}\right)^{a_7} \quad (14)$$

$$\text{Model B8.1} \quad P_B = a_1 L^{a_2} M^{a_3} V^{a_4} \quad (15)$$

- grupa modela s uključenim brojem okretaja vijka:

$$\text{Model B1.2} \quad P_B = a_1 [L + (2T + B)]^{a_2} V^{a_3} N^{a_4} \quad (16)$$

$$\text{Model B2.2} \quad P_B = a_1 L^{a_2} (2T + B)^{a_3} V^{a_4} N^{a_5} \quad (17)$$

$$\text{Model B3.2} \quad P_B = a_1 L^{a_2} (2T + B)^{a_3} \Delta^{a_4} V^{a_5} N^{a_6} \quad (18)$$

$$\text{Model B4.2} \quad P_B = a_1 L^{a_2} B^{a_3} T^{a_4} V^{a_5} N^{a_6} \quad (19)$$

$$\text{Model B5.2} \quad P_B = a_1 L^{a_2} B^{a_3} T^{a_4} \Delta^{a_5} V^{a_6} N^{a_7} \quad (20)$$

$$\text{Model B6.2} \quad P_B = a_1 L^{a_2} B^{a_3} T^{a_4} C_B^{a_5} V^{a_6} N^{a_7} \quad (21)$$

$$\text{Model B7.2} \quad P_B = a_1 L^{a_2} B^{a_3} T^{a_4} C_B^{a_5} V^{a_6} \left(1 - a \frac{L}{T}\right)^{a_7} N^{a_8} \quad (22)$$

$$\text{Model B8.2} \quad P_B = a_1 L^{a_2} M^{a_3} V^{a_4} N^{a_5} \quad (23)$$

U modelu B7.1, prema [12], $a = 0.014165$.

2.3. Određivanje modela

U određivanju modela A računati su snage pogonskog stroja za brodove iz baza [8] i [9] po izrazima (5) do (7) i uspoređene su sa snagama pogonskog stroja određenim po HM teoriji. Rezultat usporedbe je modifikiranje modela A s funkcijom potencija.

Vrijednosti snage pogonskog stroja, temeljem teorije HM, računane su pomoću računalnog programa iz [1] sa sljedećim modifikacijama:

- koeficijent upijanja i koeficijent sustrujanja definirani su izrazima iz [6] a za koeficijent prelaza uzet je izraz iz [3],

- program je nadopunjen modulom za određivanje stupnja djelovanja vijka u slobodnoj vožnji, za vijke B-serije bazena u Wageningenu, pomoću koeficijenata K_T i K_Q , definiranim polinomima objavljenim u [7], s korekcijom po izrazima iz [5],

- za svaki brod je biran vijak najvećeg stupnja djelovanja u slobodnoj vožnji, varirajući promjer vijka između 0.4 T i 0.7 T s korakom od 0.01 m, koji zadovoljava kriterij kavitacije po Kelleru, [5],

- za sve brodove pretpostavljen je jednovijčani pogon, vijak sa četiri krila i brojem okretaja kao kod brodova u bazama ako je taj broj manji od 300 okretaja u minuti,

- u računalni program ugrađene su konstante ili izrazi: faktor pretvorbe volumena istisnine u masu istisnine 1.027, mehanički stupanj djelovanja 0.985, površina kormila $A_K = 0.02 B T$, površina poprečnog presjeka bulba na pramčanoj okomici $A_B = 0.08 B T$.

Snage pogonskog stroja računane su za 224 broda od ukupno 491 broda u bazama. Iz razmatranja su izbačeni isti brodovi, brodovi za koje nije dana brzina i brodovi s dvovijčanim pogonom. Daljnja eliminacija je bila po broju okretaja vijka. Kao djelomični rezultat analize izbačeni su i brodovi sa snagom pogonskog stroja manjom od 3500 kW jer su za te brodove podaci bili nepouzdana. Također su uzeta u obzir ograničenja HM teorije: omjer dužine i širine L/B od 5.1 do 7.1, prizmatični koeficijent C_P od 0.73 do 0.85 i Froudeov broj F_n manji od 0.24. Pregled karakteristika razmatranih brodova dan je Tablici 1.

Tablica 1. Granične vrijednosti karakteristika razmatranih brodova

Table 1. Boundary values of characteristics in considered ships

Karakteristika	Najmanja vrijednost	Najveća vrijednost
Masa istisnine, t	180000.	359900.
Dužina L, m	128.3	348.5
Omjer L/B	5.38	7.06
Omjer B/T	2.25	3.50
Koeficijent punoće	0.727	0.835
Prizmatični koeficijent	0.746	0.849
Položaj težišta sistema po dužini, %L	0.732	3.067
Froudeov broj	0.116	0.212
Snaga pogonskog stroja, kW	3700.	29200.
Broj okretaja vijka u minuti	59.	173.
Omjer promjera vijka i gaza	0.437	0.661

Radi određivanja vrijednosti koeficijenata u modelima B izrazi (8) do (23) logaritmiranjem su prevedeni u oblik:

$$y = a_1 + a_2 x_1 + a_3 x_2 + \dots \quad (24)$$

u kojem y predstavlja prirodni logaritam vrijednosti snage pogonskog stroja a x -ovi su prirodni logaritmi vrijednosti značajki broda sadržanih u modelu. Višestrukom linearnom regresijom, obuhvativši sve razmatrane brodove, određene su vrijednosti koeficijenata a antilogaritmiranjem su izrazi vraćeni u prvobitni oblik.

3. Analiza prihvatljivosti modela

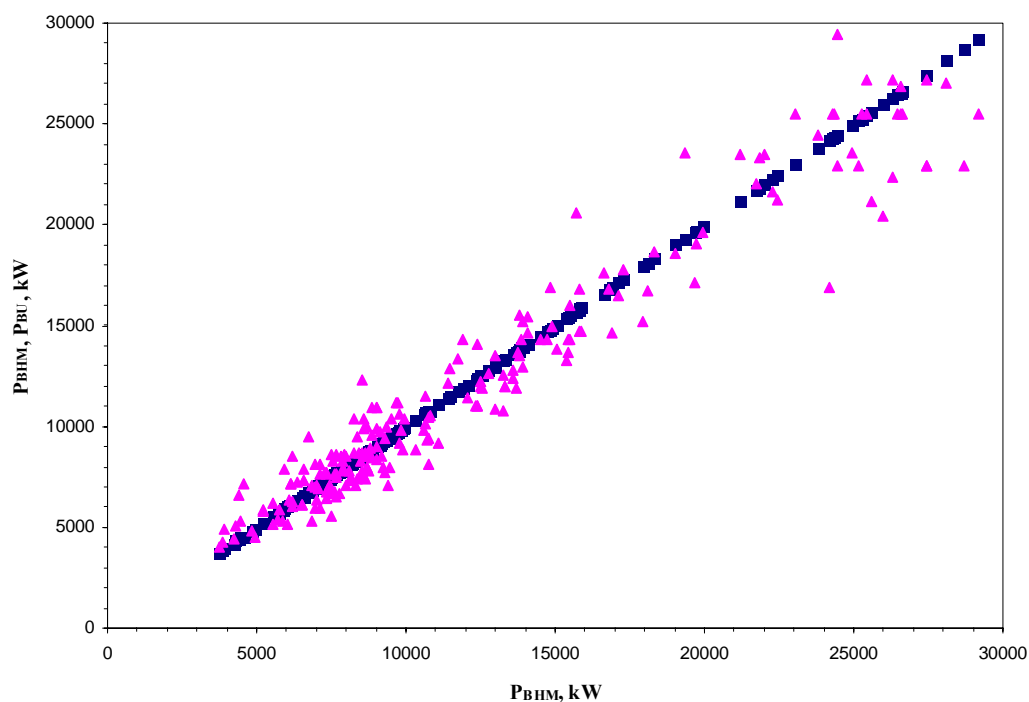
Prihvatljivost i izbor modela temelji se na usporedbi vrijednosti snaga pogonskog stroja određenih po modelima i po teoriji HM te prema postotnim razlikama određenim po donjem izrazu:

$$\Delta P_{\%} = 100 \frac{P_{BHM} - P_{Bi}}{P_{BHM}} \quad (25)$$

u kojem P_{BHM} predstavlja snage pogonskog stroja određene po teoriji HM a P_{Bi} po modelima.

3.1. Usporedba P_{BHM} snaga i snaga ugrađenih pogonskih strojeva

Za postotne razlike P_{BHM} snaga i snaga ugrađenih pogonskih strojeva, P_{BU} , za sve razmatrane brodove nađeno je sljedeće: srednja vrijednost iznosi -1.55%, standardna devijacija je 13.16%, granice 3σ intervala pouzdanosti su -39.64% i 39.33% a najveće postotne razlike su -57.02% i 30.29%. Usporedba P_{BHM} i P_{BU} snaga dana je na Slici 1. Vidljivo je značajno rasipanje P_{BU} snaga, u minusu i plusu, u odnosu na P_{BHM} snage.



Slika 1. P_{BHM} snage (kvadrat) i snage pogonskih strojeva razmatranih brodova P_{BU} , (trokut)

Fig. 1. P_{BHM} power (square) and power of main engines of considered ships P_{BU} , (triangle)

3.2. Odabir najboljeg modela iz grupe modela A

Vrijednosti postotnih razlika P_{BHM} snaga i snaga izračunatih po modelima A1, A2 i A3, za sve razmatrane brodove, nalagali su potragu za poboljšanjem ovih modela. Modeli su modificirani s funkcijom potencija $y = ax^b$ u kojoj y predstavlja novu snagu a x stari model.

Za postotne razlike P_{BHM} snaga i snaga određenih po modificiranim modelima A, modeli A1M, A2M i A3M, za sve razmatrane brodove izračunate su i dane u Tablici 2 srednje vrijednosti, standardne devijacije, 3σ interval pouzdanosti, najveće negativne i najveće pozitivne vrijednosti.

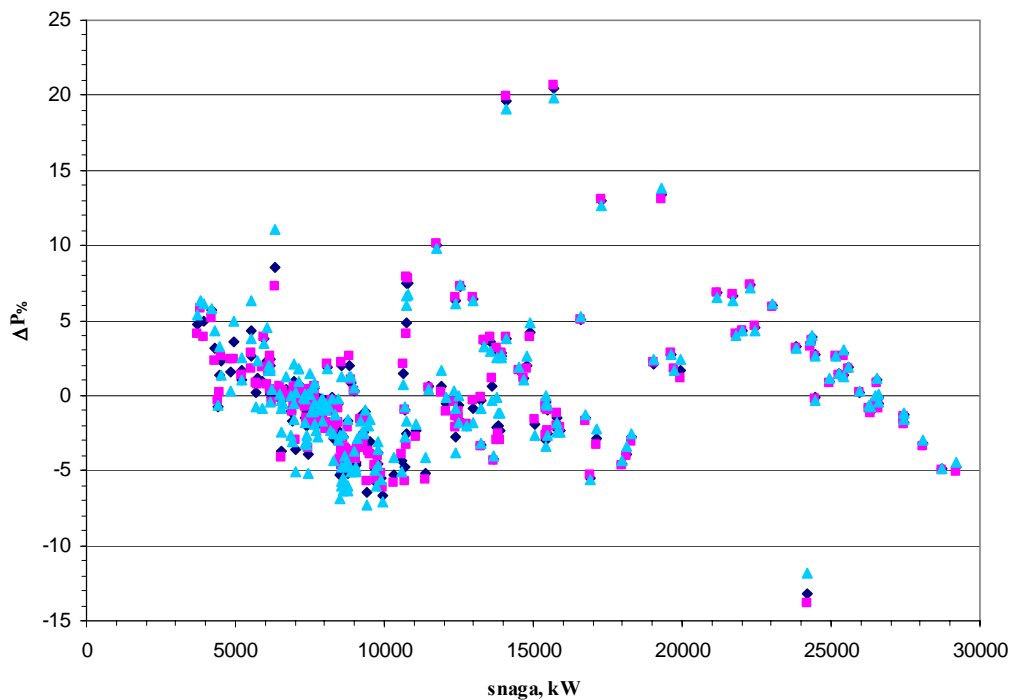
Tablica 2. Srednje vrijednosti (SRV), standardne devijacije (σ), 3σ interval pouzdanosti (3σ), najveće negativne (-max) i najveće pozitivne (+max) postotne razlike snaga pogonskog stroja izračunatih po modelima A1M, A2M i A3M

Table 2. Mean values (SRV), standard deviations (σ), interval of trust (3σ), highest negative (-max) and highest positive (+max) percentile differences of main engine power calculated according to models A1M, A2M and A3M

	SRV	σ	3σ		-max	+max
Model A1M	-.084	4.019	-12.142	11.975	-13.240	20.440
Model A2M	-.099	3.974	-12.020	11.823	-13.880	20.650
Model A3M	-.090	4.134	-12.492	12.312	-11.850	19.810

Najbolji od A modela je model A2M jer ima najmanju standardnu devijaciju i rasap vrijednosti što se vidi na Slici 2. U konačnom obliku ovaj je model definiran sljedećim izrazom:

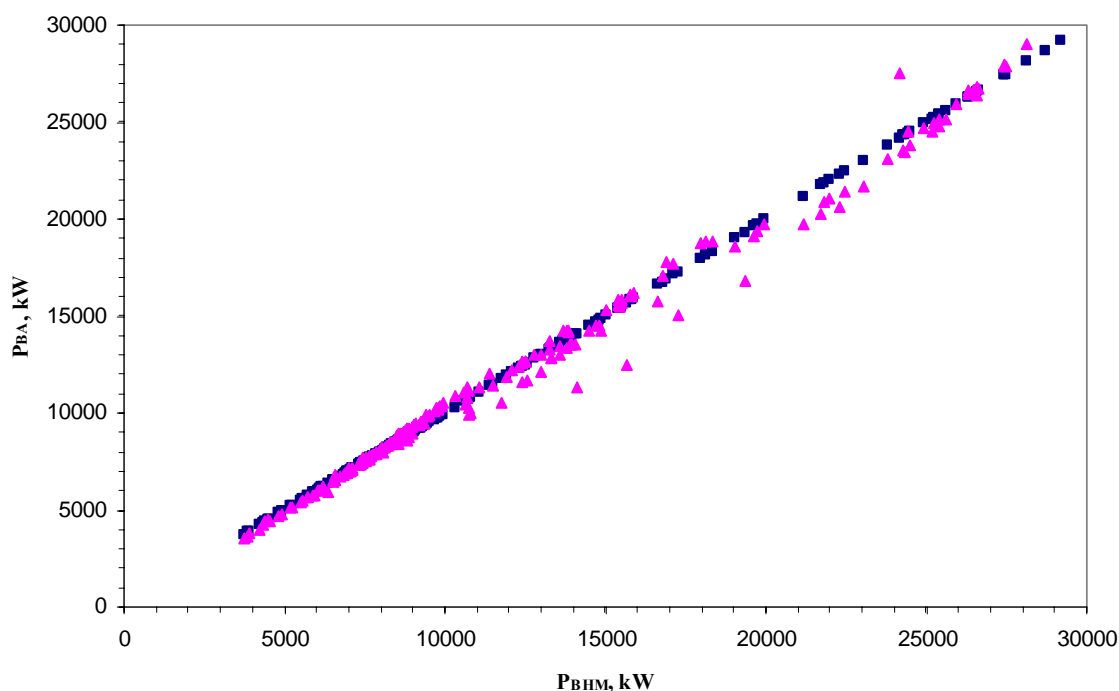
$$P_{BA} = 1.382 \frac{L^{0.2785} B^{0.7024} T^{0.6336} C_B^{1.398} V^{4.028}}{(885 - 0.12N\sqrt{L})^{1.1096}} \quad (26)$$



Slika 2. Postotne razlike snaga određenih pomoću modela A1M, A2M i A3M (romb, kvadrat i trokut)

Fig. 2. Percentile differences of values for power determined by use of models A1M, A2M and A3M (rhomb, square and triangle)

Usporedba P_{BHM} snaga i snaga P_{BA} , određenih po najboljem A modelu, dana je na Slici 3.



Slika 3. Usporedba vrijednosti snaga P_{BA} , trokut, i snaga P_{BHM} , kvadrat

Fig 3. Comparison of values for power P_{BA} (triangle) and power P_{BHM} , (square)

Odabir najboljeg modela iz grupe B modela

Temeljem ln-vrijednosti standardne devijacije, danih u Tablici 3, za najbolje modele odabrani su model B5.1, za modele bez uključenih brojeva okretaja vijka, i model B5.2, za modele s uključenim brojevima okretaja vijka. Ovaj odabir podupiru i srednje vrijednosti, standardne devijacije, 3σ interval pouzdanosti, najveće negativne i najveće pozitivne vrijednosti za postotne razlike snaga pogonskog stroja izračunatih po modelima B dane u Tablici 4. Slike 4, postotne razlike, i Slika 5, snage pogonskih strojeva određene pomoću modela B5.1 i B5.2 ilustriraju kvalitet ovih modela.

Tablica 3. Reziduali i standardne devijacije ln-vrijednosti snaga pogonskog stroja modela B

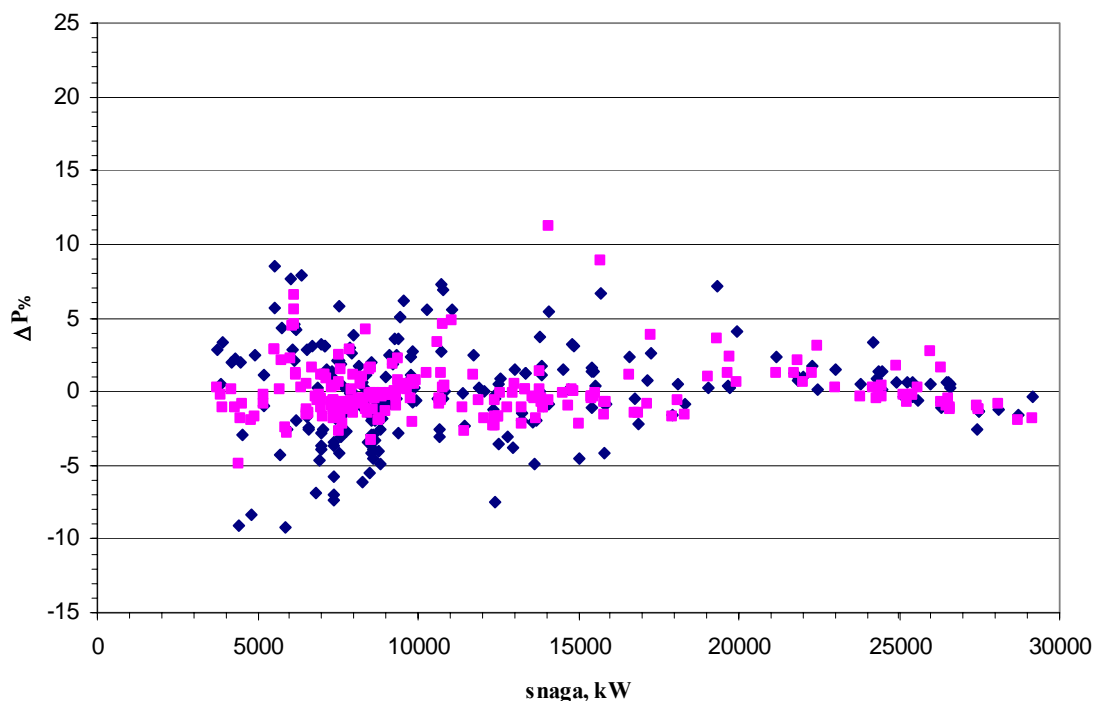
Table 3. Residual and standard deviation ln-value of main engine power for model B

	rezidual	standardna devijacija		rezidual	standardna devijacija
Model B1.1	0.485	0.0469	Model B1.2	0.242	0.0332
Model B2.1	0.222	0.0317	Model B2.2	0.0968	0.0210
Model B3.1	0.221	0.0318	Model B3.2	0.0837	0.0196
Model B4.1	0.220	0.0317	Model B4.2	0.0969	0.0211
Model B5.1	0.212	0.0312	Model B5.2	0.0795	0.0191
Model B6.1	0.217	0.0316	Model B6.2	0.0854	0.0198
Model B7.1	0.216	0.0315	Model B7.2	0.0853	0.0199
Model B8.1	0.287	0.0361	Model B8.2	0.104	0.0218

Tablica 4. Srednje vrijednosti (SRV), standardne devijacije (σ), 3σ interval pouzdanosti (3σ), najveće negativne (-max) i najveće pozitivne (+max) postotne razlike snaga pogonskog stroja izračunatih po modelima B

Table 4. Mean values (SRV), standard deviations (σ), interval of trust (3σ), highest negative (-max) and highest positive (+max) percentile differences of main engine power calculated according to models B

	SRV	σ	3σ		-max	+max
Model B1.1	-.111	4.701	-14.213	13.990	-20.000	11.800
Model B2.1	-.054	3.156	-9.521	9.412	-11.900	8.700
Model B3.1	-.049	3.151	-9.502	9.403	-11.400	8.700
Model B4.1	-.051	3.141	-9.475	9.374	-12.600	8.500
Model B5.1	-.047	3.080	-9.287	9.193	-9.200	8.500
Model B6.1	-.046	3.114	-9.387	9.296	-10.500	8.600
Model B7.1	-.048	3.103	-9.356	9.261	-10.700	8.800
Model B8.1	-.067	3.568	-10.773	10.638	-8.900	10.000
Model B1.2	-.054	3.270	-9.864	9.755	-15.100	3.100
Model B2.2	-.024	2.070	-6.234	6.187	-10.100	9.600
Model B3.2	-.016	1.902	-5.721	5.690	-6.300	11.000
Model B4.2	-.020	2.067	-6.220	6.181	-10.400	9.800
Model B5.2	-.018	1.848	-5.562	5.525	-4.900	11.200
Model B6.2	-.020	1.917	-5.770	5.731	-6.100	11.000
Model B7.2	-.019	1.919	-5.776	5.739	-6.100	11.100
Model B8.2	-.030	2.106	-6.349	6.288	-3.300	12.900



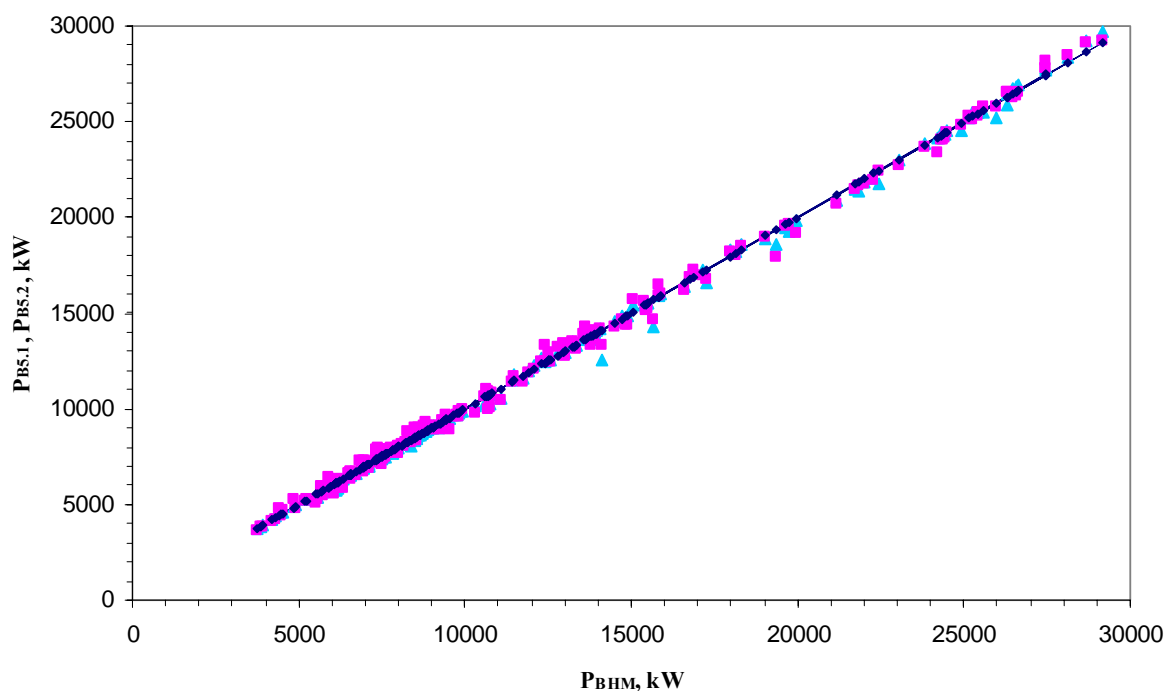
Slika 4. Postotne razlike snaga određenih pomoću modela B5.1, romb, i B5.2 kvadrat

Fig. 4. Percentile differences of values for power calculated by use of models B5.1 (rhomb) and B5.2 (square)

Izrazi koji definiraju najbolje B modele su sljedeći:

$$\text{Model B5.1} \quad P_{B5.1} = 0.01133L^{-0.149}B^{0.553}T^{0.214}\Delta^{0.330}V^{3.05} \quad (27)$$

$$\text{Model B5.2} \quad P_{B5.2} = 0.00143L^{-0.149}B^{0.314}T^{0.104}\Delta^{0.510}V^{3.05}N^{0.255} \quad (28)$$



Slika 5. Usporedba vrijednosti snaga P_{BHM} , romb, $P_{B5.1}$, kvadrat, i $P_{B5.2}$, trokut

Fig. 5. Comparison of values for power P_{BHM} (rhomb), power $P_{B5.1}$ (square) and power $P_{B5.2}$ (triangle)

4. Zaključak

Od devetnaest razmatranih modela kao najbolji može se preporučiti model B5.2, definiran izrazom (28), koji povezuje dužinu, širinu, gaz, istisninu, brzinu i broj okretaja vijka sa snagom pogonskog stroja. Granice 3σ intervala pouzdanosti za ovaj model su -5.56% i 5.53% u odnosu na snage određene pomoću HM teorije. Drugi po kvaliteti je model B5.1, definiran izrazom (27), koji za razliku od modela B5.2 ne uključuje poznavanje broja okretaja vijka. Zbog ovoga bi model B5.1 mogao biti pogodniji od modela B5.2 u fazi preliminarnog projekta ali tu prednost poništavaju granice njegovog 3σ intervala pouzdanosti: -9.29% i 9.19% .

Kvaliteta razmatranih modela osniva se na točnosti teorije HM u određivanju snage pogonskog stroja. Pokazano je da snage ugrađenih pogonskih strojeva razmatranih brodova P_{BU} , koje su snage uzete iz baza brodova [8] i [9], odstupaju u minusu i plusu od odgovarajućih P_{BHM} snaga. Vrijednost srednje postotne razlika ovih snaga je mala (-1.55%) što je utješna činjenica. Ostaje potreba ispitati koliko su ove razlike uslovljene netočnošću objavljenih podaka o razmatranim brodovima.

LITERATURA

- [1] Gugić, D., Kota I.: "Doprinos određivanju mase strojnog sustava u preliminarnom projektu tankera". XV Simpozij teorija i praksa brodogradnje - Sorta 2002", Trogir, 2004.
- [2] Gugić, D., Pedišić-Buča, M.: "Analiza metoda određivanja otpora trgovačkih brodova", XVI Simpozij teorija i praksa brodogradnje - Sorta 2004", Plitvička jezera, 2004.
- [3] Holtrop, J.: "A Statistical Analysis of Performance Test Results", International Shipbuilding Progress, Vol. 24, No. 270, February 1977.

- [4] Holtrop, J., Mennen, G.G.J.: "A Statistical Power Prediction Method", International Shipbuilding Progress, Vol. 25, October 1978.
- [5] Holtrop, J., Mennen, G.G.J.: "An Approximate Power Prediction Method", International Shipbuilding Progress, Vol. 29, July 1982.
- [6] Holtrop, J.: "A Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data", International Shipbuilding Progress, Vol. 31, 1984.
- [7] Oosterveld, M.W.C., Oossanen, P. van: "Further Computer-Analyzed Data of the Wageningen B-Screw Series", International Shipbuilding Progress, Vol. 22, July 1975.
- [8] Brigić, J.: "Zavisnosti prostora o glavnim značajkama tankera", diplomski rad, FSB, Zagreb, 2001.
- [9] Fridel, J.: "Zavisnosti prostora broda za rasuti teret o glavnim značajkama", diplomski rad, FSB, Zagreb, 2003.
- [10] Watson, D. G. M.: "Practical Ship Design", Elsevier, Oxford, 1998.
- [11] Schneekluth, H., Bertram, V.: "Ship design for efficiency and economy", Butterworth – Heinemann, Oxford, 1998.
- [12] Belamarić, I., Žiha, K., Čudina, P.: "Multikriterijalna optimizacija Suezmax tankera 150000 DWT", 10. Simpozij teorija i praksa brodogradnje - Sorta 1992, Opatija 1992.

NOMENKLATURA

A_B	- površina poprečnog presjeka bulba na pramčanoj okomici, m^2
a_i	- koeficijent čija se vrijednost određuje višestrukom linearnom regresijom
A_K	- površina kormila, m^2
B	- širina, m
C_B	- koeficijent punoće
C_P	- prizmatični koeficijent
F_n	- Froudeov broj
K_Q	- koeficijent momenta
K_T	- koeficijent poriva
L	- dužina između okomica, m
M	- koeficijent vitkosti (okruglo M)
N	- broj okretaja vijka u minuti
P_B	- snaga pogonskog stroja na prirubnici, kW
P_{BHM}	- snaga pogonskog stroja određena po HM teoriji, kW
P_{Bi}	- snaga pogonskog stroja određena po nekom od razmatranih modela, kW
P_{BU}	- snage ugrađenih pogonskih strojeva na razmatranim brodovima deklarirane u bazama brodova [8] i [9], kW
P_E	- efektivne snage otpora, kW
T	- gaz, m
V	- brzina, kn
η_d	- ukupni stupanj korisnosti propulzije
σ	- standardna devijacija
Δ	- masa istisnine, t
∇	- volumen istisnine, m^3