

# Određivanje optimalne brzine transporta broda

UDK 629.072:629.123.4

## Sažetak

*Više je autora obrađivalo problem proučavanja optimalne brzine broda. Dosadašnje varijable u proračunu optimalne brzine broda su bile, cijena goriva, i/ili cijena posade, i/ili visina vozarine, te sve značajke projekta broda koje prate izmjenu brzine broda.*

*U ovom se radu predlaže postupak za zadovoljenje transportnog kapaciteta iz projektnog zahtjeva, analizom i brzine u luci i brzine u plovidbi, tj. novim pojmom brzinom transporta.*

*Riješivši ekonomske kriterije za proračun povoljnosti pojedinačnih brzina, može se i odrediti povoljnost izbora teretnog uređaja koji predstavlja varijablu brzine u luci.*

U projektnom zadatku redovito se zadaje predviđeni godišnji transportni kapacitet. Godišnji transportni kapacitet za određenu duljinu kružne plovidbe zadovoljava se veličinom i brzinom broda, te se u tom proračunu redovito procjenjuje vrijeme zadržavanja u lukama. Godišnji transportni kapacitet za nedefiniranu duljinu kružne plovidbe također se može zadovoljiti različitim nosivostima i brzinom broda uz definiranje zamišljene duljine kružne plovidbe odnosno transportni kapacitet zadan je u godišnjim tona miljama.

U dosadašnjim analizama projektnih rješenja za oba navedena slučaja zadovoljenja transportnog kapaciteta analizom se obuhvaćala nosivost, brzina u plovidbi, troškovi gradnje broda, troškovi za gorivo, troškovi za posadu odnosno ukupni troškovi korištenja broda, fiksni i promjenljivi, zahtjevana vozarina, rentabilnost poslovanja broda s predvidivim vozarinama, optimalna brzina broda itd. itd.

Uočeno je da u dosadašnjim analizama nedostaje jedno od bitnih razmatranja odnosa brzine u plovidbi i brzine u luci. Ovo razmatranje bi trebalo obuhvatiti i brodove s teretnim uređajem kao i brodove koji koriste lučke teretne uređaje. U ovoj analizi također bi se moglo razmatrati i razne tipove brodova.

Pretpostavimo da općenito analiziramo ekonomske efekte brzine u plovidbi naprama brzini u luci, uspoređujući s jedne strane troškove za postizanje jedne odnosno druge brzine naprama koristima odnosno zaradama jedne odnosno druge brzine. Ovo razmatranje bi trebalo biti općenito i primjenljivo za većinu tipova brodova, te bi trebalo poslužiti kao jedna od bitnih karika kod određivanja projektnog zahtjeva za brod.

Elementi koji utječu na proračun za razmatranje ekonomičnosti brzine u luci su mnogobrojni i teško odredljivi (predviđanja troškova i korištenja lučkih uređaja s obzirom na velike različitosti u svjetskim lukama). S druge strane svjedoci smo borbe brodograditelja i brodarka za korištenjem svake desetinke čvora brzine u plovidbi, te je logično očekivati zao-

štravanje borbe za uštedom svakog sata stajanja u luci. Zbog toga nam je neophodno imati na neki način odnos troškova i zarada na moru i u luci, te povjeriti naše odluke proračunima, a ne kao do sada procjenama.

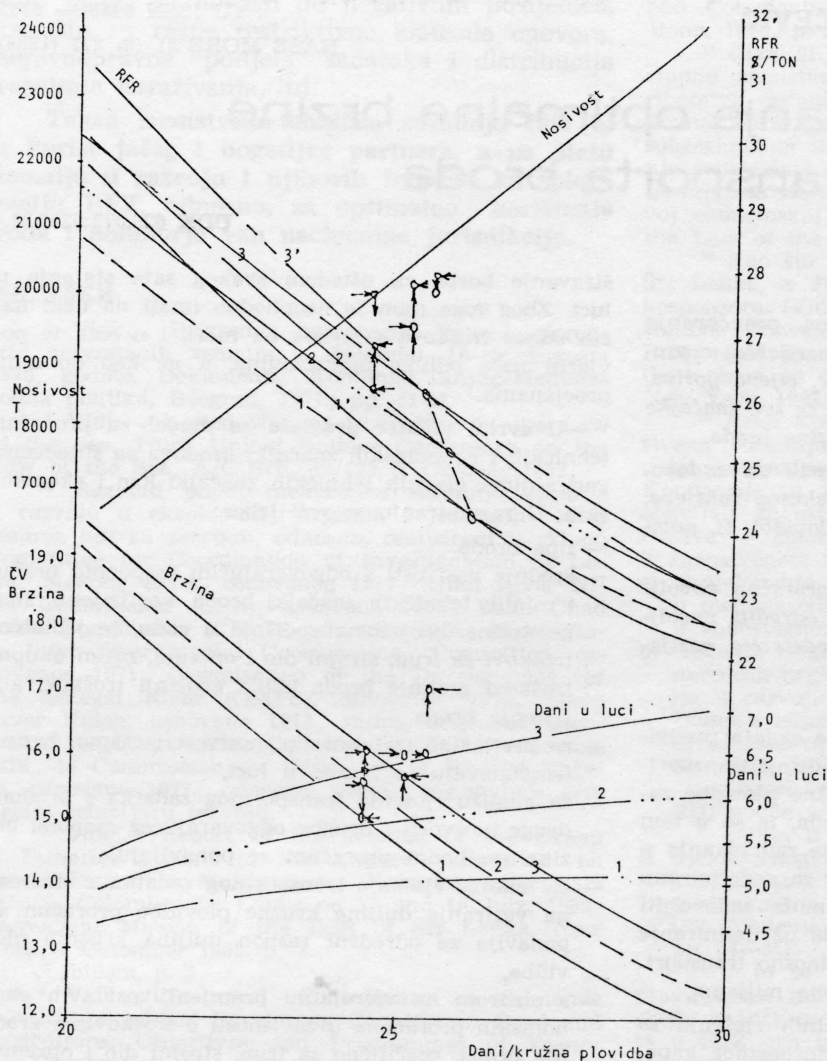
U svrhu analize predlaže se model za proračun tehničkih i ekonomskih značajki brodova sa slijedećim variranjima glavnih tehničkih značajki kao i ekonomskih. U razmatranju se vrši izbor:

- tipa broda,
- srednje nosivosti s odgovarajućim rasponom brzine i ostalih tehničkih značajki broda, koeficijenti, snage, težine, broj dana godišnje u radu, te jedinični troškovi za trup, strojni dio i opremu, zatim ukupni troškovi gradnje broda kao i godišnji troškovi korištenja broda.
- za prethodno izabrani tip, nosivost i raspon brzina izračunavaju se brzine u luci,
- za analizu rješenja transportnog zadatka s brodom druge nosivosti i drugog odgovarajućeg raspona brzina prethodni proračuni se ponavljaju,
- za analizu rješenja transportnog zadatka s obzirom na variranje duljine kružne plovidbe proračun se ponavlja za određeni raspon duljina kružnih plovidba,
- s obzirom na vjerojatnu promjenljivost svih ekonomskih proračuna u zavisnosti o troškovima gradnje broda, specifično za trup, strojni dio i opremu, te promjenljivost troškova goriva, posade i ostalih elemenata troškova korištenja broda, ova variranja se mogu uključiti u proračun,
- rezultati ovog razmatranja u biti bi se temeljili na proračunu zahtjevana vozarine za svaku varijantu rješenja transportnog zadatka ili/i rentabilnosti u zavisnosti sa stvarnim vozarinama također za svaku varijantu rješenja transportnog zadatka.

Predloženi proračun za analiziranje ekonomičnosti ovako velikog broja varijanti rješenja transportnog zadatka imao bi glavnu prednost u pokazivanju osjetljivosti na brzinu plovidbe odnosno brzinu u luci. Ova osjetljivost posebno se očekuje kao rezultat opremljenosti broda teretnim uređajem, te povoljnosti korištenja teretnih skladišta, načina prekrcaja i organizacije prekrcaja, a sve to svedeno s jedne strane na troškove pojedinog rješenja, a s druge strane na prihod od istog rješenja.

Kod izbora odgovarajuće varijante među prethodno ponuđenim varijantama cilj bi bio zadovoljenje minimalnih troškova transporta od luke A do luke B uključujući i troškove za prekrcaj u jednoj i drugoj luci. Brzina u luci koja prvenstveno zavisi o brzini prekrcaja mora se temeljiti na ekonomskoj opravdanosti izbora te brzine tj. ostvarenju optimalne brzine u luci. Optimalna brzina u luci bit će ona kod koje se ostvaruje najekonomičniji prekrcaj.

PRIMJER



Dijagram 1. Medjazavisnost izmedju nosivosti, te brzine na moru i u luci, a za konstantni transportni kapacitet

Za primjer je izabran transportni zadatak za ostvarivanje transporta od 1000 milijuna tona milja godišnje rasutog tereta.

Prvo procjenjujemo najuobičajeni brod za rješenje ovog zadatka, kao brod od 20000 t nosivosti s prevaljenom udaljenošću godišnje od 100000 morskih milja, te nadalje 350 dana godišnje zaposlenosti broda kao i srednju brzinu plovidbe godišnje od 15 čv.

Za prvu varijantu analize ovog zadatka uzima se određena duljina kružne plovidbe i to 7000 NM iz čega proizlazi da je neophodno obaviti 14,3 plovidbe godišnje. Imajući na raspolaganju 350 dana godišnje, a zahtijevajući 1000 milijuna tona milja godišnje uz 14,3 putovanja godišnje imamo na raspolaganju za pojedinu ukupnu duljinu plovidbe 24,5 dana. Za zadanu prosječnu brzinu u službi od 15 čv. i duljinu kružne plovidbe potreban broj dana na moru je 19,5 dana, te nam ostaje kao vrijeme u luci 5 dana po kružnoj plovidbi.

Za ostale varijante transporta u ovom primjeru izrađena je tablica 1, u kojoj su prikazani elementi variranja a prema tablici je izrađen dijagram 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Nosivost t	God. prevalj. put NM/god	Brzina, čv	Transportni kapacitet = 1000 milijuna tona milja god. Udaljenost kružne plovidbe = 7000 NM Godišnje radni dani = 350 dana	Sati po kruž. plovidbi na moru	Broj plovidba dana godišnje	Broj dana po kružnoj plovidbi	Broj dana na moru	Broj dana u luci	Prekrcaj t/dan	Srednji god. troškovi kapitala	P <sub>B</sub>
A <sub>1</sub>	24000	83250	12,0		583	11,9	29,4	24,3	5,1	9400	4240000	3729
A <sub>2</sub>	24000	83250	12,5		560	11,9	29,4	23,4	6,0	8000	4320000	4233
A <sub>3</sub>	24000	83250	13,0		538	11,9	29,4	22,4	7,0	6850	4400000	4737
B <sub>1</sub>	20000	100000	15,0		466	14,3	24,5	19,5	5,0	8000	4690000	6513
B <sub>2</sub>	20000	100000	15,5		452	14,3	24,5	18,8	5,7	7020	4795000	7191
B <sub>3</sub>	20000	100000	16,0		437	14,3	24,5	18,2	6,3	6350	4900000	7870
C <sub>1</sub>	17000	117500	18,0		389	16,8	20,8	16,2	4,6	7400	5390000	9769
C <sub>2</sub>	17000	117500	18,5		378	16,8	20,8	15,8	5,0	6800	5545000	10595
C <sub>3</sub>	17000	117500	19,0		368	16,8	20,8	15,4	5,4	6300	5700000	11420

Tablica 1

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	Godišnje goriva, t	God. troškovi za gorivo, g	Troškovi korišt. broda, g	Troškovi luke god. g	Osigur. god. g	Godiš. troškovi ukupno g	Dnevni troškovi g/dan	Troškovi prekrc. s lučkim uređajem g	Dnevni trošk. na moru g/dan	Dnevni troškovi u luci g/dan	Troškovi prekrc. s brodskim uređajem g
A <sub>1</sub>	3363	538080	420340	85680	72798	5356898	13523	1142400	15384	33757	1143358
A <sub>2</sub>	3667	586740	424995	85680	74158	5491573	13769	1142400	15876	30969	1140059
A <sub>3</sub>	3942	630720	429650	85680	75518	5621568	14015	1142400	16381	28758	1141440
B <sub>1</sub>	5642	902720	421590	85680	80443	6180553	14834	1142400	18071	32012	1055247
B <sub>2</sub>	6043	966845	425785	85680	82226	6355536	15151	1142400	18747	30218	1086184
B <sub>3</sub>	6393	1022880	429980	85680	84009	6522669	15469	1142400	19399	29102	1119251
C <sub>1</sub>	8300	1328000	419325	85680	92321	7315326	16862	1142400	21741	32753	807138
C <sub>2</sub>	8746	1399410	423175	85680	94949	7548214	17323	1142400	22595	31943	791306
C <sub>3</sub>	9178	1468480	427025	85680	97577	7778762	17785	1142400	23461	31322	780670

Tablica 1 nastavak

	24	25	26	27	28	29	30		
	Troškovi korištenja teretnog uređaja, g/god.		Amortizac.	Energija	Ljudi	Dnevni troškovi na moru s teret. uređj. g/dan	Dnevni troškovi u luci s teret. uređj. g/dan	RFR <sub>1</sub> Lučki prekrc. g/t	RFR <sub>2</sub> Brod. prekrc. g/t
A <sub>1</sub>	768358	25000	350000	17578	23309	22,45	22,76		
A <sub>2</sub>	765059	25000	350000	18062	22407	22,86	23,22		
A <sub>3</sub>	766440	25000	350000	18571	21735	23,28	23,68		
B <sub>1</sub>	680247	25000	350000	20015	23223	25,55	25,30		
B <sub>2</sub>	711184	25000	350000	20779	22835	26,22	26,02		
B <sub>3</sub>	744251	25000	350000	21525	22710	26,92	26,72		
C <sub>1</sub>	432138	25000	350000	22976	24058	29,61	28,44		
C <sub>2</sub>	416306	25000	350000	23785	23997	30,42	29,28		
C <sub>3</sub>	405670	25000	350000	24620	24022	31,24	29,97		

Tablica 1 nastavak

Legenda uz tablicu

ad 2) ④ x 2 : ①

ad 5) 7000 : ③

ad 6) ② : 7000

ad 7) 350 : ⑥

ad 8) ⑤ : 24

ad 9) ⑦ - ⑧

ad 10) ① x 2 : ⑨

ad 11) [REF. 1]

$$Y = 1799,13 + 18,58 cc + 8,07 cc^2 - 216,14 V + 18,99 cc \cdot V - 1,13 cc^2 V + 11,11 V^2 + 0,27 cc V^2 + 0,02 cc^2 V^2$$

cc = kapacitet u balama

V = brzina u čv.

BC = CRF x Y x 1000 = srednji godišnji troškovi kapitala

CRF = faktor povratka kapitala

ad 12) [REF. 1]

$$P_B = a \cdot V^b$$

a, b = funkcije volumena za bale

ad 13) ⑫ x ⑤ x ⑥ x 130 gr/KS h

ad 14) ⑬ x 160 g/t

ad 15) [REF. 1]

$$RC = (m \cdot V + b) \cdot 1000 = \text{troškovi korištenja broda}$$

m, b = funkcije od cc

ad 16) [REF. 1]

$$PD = 200 cc \text{ po pristajanju} = \text{troškovi luke}$$

ad 17) [REF. 1]

$$PR = 0,02 (BC)^{0,99} = \text{osiguranje}$$

ad 18) ⑪ + ⑭ + ⑮ + ⑯ + ⑰

ad 19) ⑱ - ⑲ - ⑳ : 350

ad 20) ① x ⑥ x 4 g/t

ad 21) ⑲ + ⑱ : ⑥ x ⑧

ad 22) ⑲ + ⑱ + ⑳ : ⑥ x ⑨

ad 23) ⑳ + ㉑ + ㉒

ad 27) ⑱ - ⑲ - ⑳ + ㉒ : 350 + ⑭ : ⑥ x ⑧

ad 28) ⑱ - ⑲ - ⑳ + ㉒ : 350 + ⑱ + ㉑ + ㉒ : ⑥ x ⑨

ad 29) ⑱ + ㉑ : ① x ⑥

ad 30) ⑱ + ㉑ : ① x ⑥

U ovom primjeru varirano je 9 brodova i to po 3 broda je izvedeno s nosivošću manjom od 20000 t, a 3 s nosivošću većom od 20000 t.

Brodovi s istom nosivošću varirani su s 3 različite brzine, a transportni kapacitet je postizan isti pomoću kraćeg odnosno duljeg zadržavanja u luci. Pretpostavilo se da će se brzina u luci postizati pomoću teretnog uređaja i to jedamput lučkim uređajem, a drugi put vlastitim teretnim uređajem na brodu.

Za troškove prekrcaja lučkim teretnim uređajem pretpostavlja se ista jedinična cijena po toni bez obzira na veličinu broda i vrijeme prekrcaja. Troškovi prekrcaja vlastitim teretnim uređajem pretpostavljaju promjenljivost troškova vezanih uz amortizaciju teretnog uređaja svedenu na godišnje troškove kapitala za teretni uređaj plus troškovi za ljudstvo kod prekrcaja i plus troškovi energije. Iz analize je vidljivo da su kod većeg broda troškovi prekrcaja manji od troškova prekrcaja kod manjeg broda, te da su troškovi s lučkim uređajima ili brodskim uređajima kod većeg broda praktični izjednačeni.

Iz ovoga bi se mogao izvesti zaključak da se kod većih brodova ne isplati ugrađivati vlastiti teretni uređaj već koristiti lučki i obrnuto.

Primjer proračuna za dokaz ove pretpostavke može se lako izvesti iz usporedbe troškova i izvedbe vlastitog teretnog uređaja naprama korištenju lučkog teretnog uređaja za brod za rasuti teret od 100000 t nosivosti. Da bi se postigla zahtjevana vozarina visine uobičajene kod broda od 100000 t nosivosti, neophodno je da zadržavanje u luci ne bude dulje od broda od 20000 t nosivosti.

Kapacitet prekrcaja bi dakle na brodu od 100000 t nosivosti morao biti 5 puta veći od onog na brodu od 20000 t nosivosti.

Tehnička izvedba ovakvog teretnog uređaja, te investicijski troškovi pokazuju veliku prednost upotrebe lučkih teretnih uređaja.

Nakon analize utjecaja teretnog uređaja postavljenog na brodu naprama upotrebi lučkog teretnog uređaja isti prethodni primjer korišten je za analizu osjetljivosti s obzirom na zahtjevanu vozarinu i to za 3 uobičajena elementa korištenja broda, tj.:

- korištenje manje nosivosti od projektirane,
- pad brzine u prosječnoj službi uslijed neodržavanja trupa broda,
- produljeno zadržavanje u luci uslijed neadekvatne organizacije prekrcaja,

Ova analiza osjetljivosti pokazuje brodaru redosljed elementa korištenja broda, koje treba primarno imati na umu i na taj način unaprijediti korištenje broda.

Rezultati analize osjetljivosti prikazani su u tablici 2, a rezultati su nanoseni u dijagramu 1 pod oznakama I; II; III.

#### Literatura:

1. P. Sen: »Transport-Economic Analysis of General Cargo Ships«, Norwegian Maritime Research, No. 3/1977.
2. S. Thorvaldsen: »Computer Aided Preliminary Ship Design and Evaluation of sea Transportation«, Norwegian Maritime Research, No. 2/1975.

#### - manja nosivost I

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	29	30
	Nosivost t	God. prevalj. put NM/god	Brzina, čv		Sati po kruž. plov. na moru	Broj plov. god.	Broj dana po kruž- noj plovidbi	Broj dana na moru	Broj dana u luci	RFR <sub>1</sub> Lučki prekr. \$/t	RFR <sub>2</sub> Brod. prekr. \$/t
B <sub>3</sub>	20000	100000	16	1000 Miljuna Ton.Milja/god.	437	14,3	24,5	18,2	6,3	26,92	26,72
B <sub>31</sub>	19500	100000	16	975 Miljuna Ton.Milja/god.	437	14,3	24,5	18,2	6,3	27,49	27,41
Razlika u %										+2,1	+2,7

#### - pad brzine u službi II

B <sub>3</sub>	20000	100000	16	1000 Miljuna Ton.Milja/god.	437	14,3	24,5	18,2	6,3	26,92	26,72
B <sub>32</sub>	20000	197200	15,5	972 Miljuna Ton.Milja/god.	452	13,9	25,1	18,8	6,3	27,57	27,49
Razlika u %										+2,3	+3,0

#### - produljeno zadržavanje u luci III

B <sub>3</sub>	20000	100000	16	100 Miljuna Ton/Milja/god.	437	14,3	24,5	18,2	6,3	26,92	26,72
B <sub>33</sub>	20000	96000	16	960 Miljuna Ton./Milja/god.	437	13,7	25,5	18,2	7,3	27,98	27,89
Razlika u %										+3,9	+4,3

Tablica 2