

ODREĐIVANJE TROŠKOVA BRODA U PLOVIDBI PORADI USPJEŠNOSTI IZVOĐENJA OPTIMIZACIJE BRODSKOGA KAPACITETA

Defining Ship's Costs at Sea in Order to Determine the Efficiency of Optimization of Ship's Capacity

dr. sc. Renato Ivče

Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci
e-mail: rivce@pfri.hr

dr. sc. Alen Jugović

Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci
e-mail: ajugovic@pfri.hr

prof. dr. sc. Serđo Kos

Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci
e-mail: skos@pfri.hr

UDK 656.61 : 629.123
338.5

Sažetak

Predmet ovog rada je nastojanje da se opiše i unaprijedi prikaz strukture brodskih troškova putovanja kako bi se odredio optimalan kapacitet broda. Problem u određivanju brodske optimalnog kapaciteta pojavljuje se zbog brojnih čimbenika koje treba uzeti u obzir. Neki od njih su troškovi brodarka na razmatranoj liniji koji moraju biti kvantificirani kako bi se mogla izvoditi optimizacija brodske kapaciteta. Općenito se troškovi brodarka za razmatrano putovanje mogu prikazati kao troškovi broda u plovidbi, troškovi broda u luci i operativni troškovi. Glavni cilj ovom istraživanju je definirati troškove nastale u plovidbi broda. Struktura dnevnih troškova broda u plovidbi s gledišta brodarka, može općenito biti razlučena na troškove prijevoznog učinka, troškove za gorivo i troškove za prolazak kroz kanale. Sinteza tih troškova izvedena je kao grafički prikaz dnevnih troškova po jedinici kapaciteta broda u plovidbi.

Ključne riječi: analiza, troškovi, optimalni kapacitet broda, troškovi brodarka, troškovi broda u plovidbi.

Summary

The objective of this paper is to describe and evaluate the scheme of the structure of ship's voyage cost for determining optimum ship's capacity. The problems in designing optimum ship's capacity appear due to the numerous considerations that must be taken into account. Some of these considerations are the shipowner's costs on the concerned route, which must be quantified in order to apply optimization of ship's capacity. Generally shipowner's costs on the considered voyage can be presented as the daily cost at sea, the daily cost in port, and the commonly operating cost. The main goal of this research is to define daily cost at sea. The structure of daily cost at sea from the shipowner's point of view in this paper generally might be described as cost basis on cargo units hauling, fuel cost, an channel dues. Syntheses of the mentioned costs at port are graphically transformed to a cost per unit of ship's capacity at sea.

Keywords: analyzing, costs, ships optimum capacity, ship owner's costs, ship's daily cost at sea.

UVOD / Introduction

Potreba za optimizacijom tehnoloških obilježja broda proistječe iz zahtjeva da se postignu brodske performanse koje omogućuju najučinkovitije izvođenje pomorskoprijevoznog procesa. Upravo će zahtjevi pomorskoprijevoznog procesa imati presudnu ulogu u određivanju tehnoloških obilježja broda za koje je potrebna optimizacija. Sagledavajući zahtjeve pomorskoprijevoznog procesa moguće je odrediti brod optimalnih tehnoloških obilježja, što zahtijeva opsežno istraživanje koje zadire u veći broj znanstvenih područja. Zbog toga proizlazi da je problem optimalnog kapaciteta broda u biti potproblem općeg problema kojim se određuju optimalna tehnološka obilježja transportnog sredstva - u ovom slučaju broda.

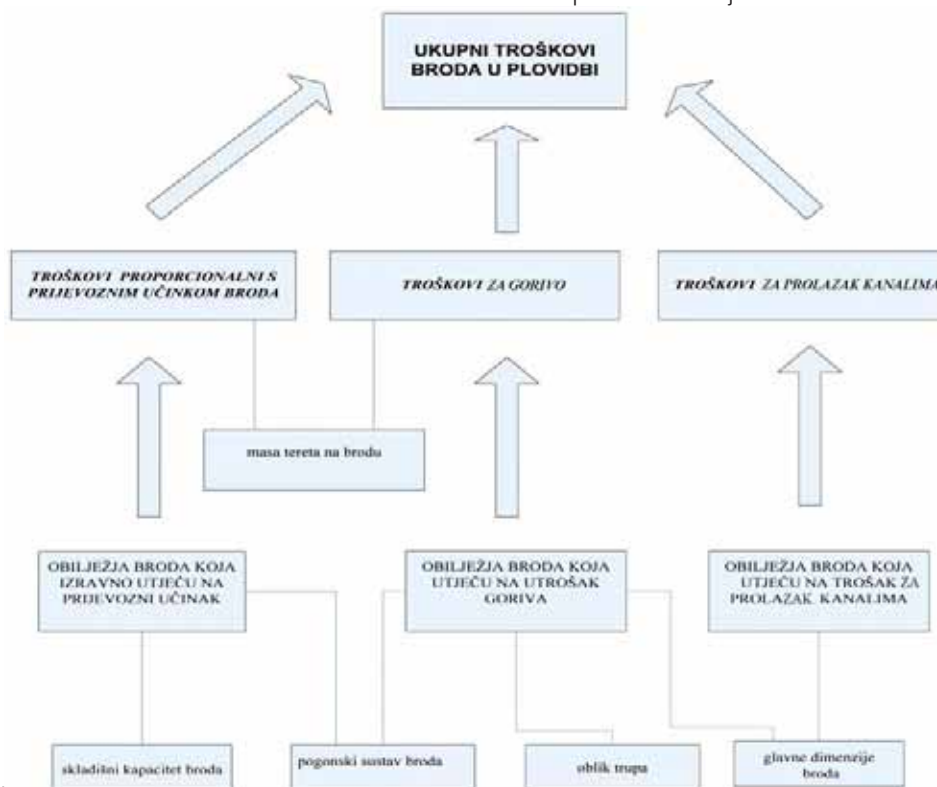
Polazeći od troškova pomorskoprijevoznog procesa kao važnih čimbenika u izvođenju optimizacije optimalnog kapaciteta broda, moguće je razmatrati troškove broda što se pojavljuju tijekom segmenta putovanja koji označava plovidbu i tijekom boravka broda u luci, te operativne troškove kao izdvojenu skupinu što se pojavljuju u oba segmenta. Stoga se troškovi putovanja broda, s obzirom na navedene temeljne funkcije što obilježavaju prijevozni učinak, razlučuju na tri osnovne kategorije: troškovi broda u luci, troškovi broda u plovidbi i operativni troškovi broda.

Najveći broj autora koji se bave ovom problematikom ukupne troškove broda razlučuje na fiksne i varijabilne troškove. Fiksni troškovi definirani su kao oni što nisu povezani s prijevoznim učinkom.¹ Varijabilni su troškovi oni koji su rezultat izvršenoga prijevoznog učinka.² Pojedini autori troškove goriva izdvajaju iz skupine varijabilnih tumačeći ih kao zasebnu kategoriju.

Pristup prikazu troškova broda tijekom pomorsko-prijevoznog procesa razdvajanjem troškova broda u plovidbi od troškova broda u luci, omogućuje učinkovitiju sistematizaciju brodskih troškova. U ovom se radu analiziraju brodski troškovi tijekom plovidbe.

UTJECAJ PLOVIDBE BRODA KAO SEGMENTA POMOSKOPRIJEVOZNOG PROCESA NA EKONOMSKE POKAZATELJE / Influence of Ship Navigation as a Segment of Ship-Transport Process on Economic Indicators

Troškovi broda u plovidbi su funkcijski ovisni o utjecajnim varijablama obilježja broda (B) i o cijeni pojedinog troška nastaloga tijekom plovidbe. U radu se značenje pridaje obilježjima broda što izravno utječu na ekonomske pokazatelje jer se s pomoću njih može utvrditi njegov trošak u plovidbi. Raščlamba troškova i utjecajnih čimbenika broda u plovidbi dana je na slici 1.



Izvor: Izradili autori.

Slika 1. Prikaz raščlambe troškova broda u plovidbi

Figure 1. Ship's cost structure at sea

¹ Prema J.O. Janson, i D. Shneerson, *Liner Shipping Economics*, Chapman and Hall Ltd, London, 1987, str. 74.

² Ibidem, str. 74.

Razmatrajući specifične troškove u segmentu pomorskoprijevoznog procesa koji se odnosi na plovidbu, moguće je raščlaniti takve troškove na tri osnovne skupine:

1. troškovi proporcionalni prijevoznom učinku broda,
2. troškovi goriva,
3. troškovi prolaska kanalima.

Određena obilježja broda se pojavljuju u funkciji navedenih troškova. Međutim, njihov izravan utjecaj na pojedini trošak je različit, pa se ovdje posebno prikazuju.

Troškovi proporcionalni prijevoznom učinku / Cost Proportional to Transport Effect

U troškove proporcionalne prijevoznom učinku ubrajaju se oni koji umanjuju vozarinu kao naknadu za obavljanu uslugu u pomorskoprijevoznom procesu. Vozarina se formira na temelju količine jediničnog tereta i udaljenosti na koju se on prevozi. Zato je ona redovito proporcionalna količini jediničnog tereta i prevaljenoj milji. Osnovne skupine tih troškova su špediterske i agencijske provizije. Obilježja broda što izravno utječu na prijevozni učinak su:

1. skladišni brodski kapacitet,
2. porivni sustav.

Skladišni kapacitet omogućuje dostatan prostor za prihvat tereta, pa samim tim i mogućnost većeg priljeva vozarine, što izravno utječe i na povećanje troška u obliku špediterske i agencijske provizije.

Usmjeravajući se na prijevozni učinak broda (K), razvidno je da porivni sustav koji pripada varijablama brodskog dizajna, uz glavne dimenzije, znatno utječe na brzinu (V). Brodski skladišni kapacitet i porivni sustav čvrsto su povezani, pa se snaga brodskog stroja općenito prihvaća kao najvažnija utjecajna varijabla na optimalnu dizajniranu brzinu, uz skladišni kapacitet broda (K_0).

Vozarina se u pomorskoprijevoznom procesu ubire proporcionalno količini jediničnog tereta. Zato se agencijska i špedicijska provizija, kao naknade koje izravno umanjuje vozarinu, zasniva na količini jediničnog tereta. Skupina troškova koja obuhvaća špediterske i agencijske naknade može se prikazati izrazom:

$$Taš = K_0 \cdot DI \cdot \left[\sum_{i=1}^{n-1} \delta_i \cdot \lambda_i \cdot aš_i \right] \quad (1)$$

$$\delta_i = \frac{Ot_i}{K_0} \quad (2)$$

$$\lambda_i = \frac{DI_i}{DI} \quad (3)$$

gdje je:

$Taš$ – ukupni agencijski i špedicijski troškovi,

n – broj luka na razmatranom putovanju,

$aš$ – agencijski i špediterski troškovi po jedinici količine, za putovanje od luke i do luke $i + 1$,

λ_i – omjer između duljine puta između luke i te $i + 1$ i ukupne duljine puta određenog putovanja,

δ_i – omjer između prevezene količine jediničnog tereta između luke i te luke $i + 1$ i skladišnog kapaciteta broda,

DI – ukupna duljina puta na određenom putovanju,

DI_i – duljina puta između luke i te $i + 1$,

Ot_i – količina prevezenih jedinica tereta između luke i te luke $i + 1$.

Troškovi za gorivo / Fuel Costs

Brod tijekom plovidbe uobičajeno troši teško gorivo (eng. *Fuel Oil*), za glavni pogonski stroj, i lako gorivo (eng. *Marine Diesel Oil* ili *Marine Gas Oil*), za pomoćne strojeve. Stoga bi u troškove putovanja trebalo uzeti oba ta troška tijekom plovidbe broda. U obilježja broda što izravno utječu na utrošak goriva se ubrajaju:

1. brodski porivni sustav,
2. oblik brodskoga trupa,
3. glavne brodske dimenzije.

U svakoj konzultiranoj studiji strojarstva potrošnja je goriva proporcionalna instaliranoj snazi stroja. Ekonomičnost veličine broda u odnosu prema potrošnji goriva temelji se na činjenici da je za danu dizajniranu brzinu snaga stroja nešto manja u odnosu prema proporcionalnosti veličine broda.³ Pritom bi se opažanjem odnosa između potrošnje goriva i veličine broda dala utvrditi ukupna veličina elastičnosti u potrošnji goriva. Procjenjuje se da postoji djelomična elastičnost potrošnje goriva u odnosu prema veličini brodova polazeći od njihovih različitih veličina. Veličina specifične potrošnje goriva (q) za istu vrstu pogona koja se primjenjuje na brodovima, u odnosu prema deplasmanu broda malo se mijenja.

Brodsko je propulzija interakcijski povezana s oblikom i stanjem brodskoga trupa i izravno utječe na zahtijevanu snagu poriva, a time i potrošnju goriva. Uzimajući u obzir sve relevantne čimbenike, učinak propulzije (ηD) za teretne brodove⁴ iznosi približno od 0,6 do 0,7.

³ Ibidem, str 132

⁴ Prema B. Glavan, *Ekonomika morskog brodarstva*, Školska knjiga, Zagreb, 1992., str. 180.

Glavne brodske dimenzije su u izravnoj funkciji deplasmana, to jest brodske kapaciteta kao važnoga čimbenika pri zahtijevanoj snazi broskog stroja.

Usmjeri li se na prijevozni učinak broda (K), uočava se da sustav pogona koji se ubraja u varijable broskog dizajna, uz glavne dimenzije, znatno utječe na brzinu (V). Ugrađeni broski stroj i skladišni kapacitet broda tijesno su povezani, zbog toga se snaga broskog stroja općenito prihvaća kao najvažnija utjecajna varijabla na optimalnu dizajniranu brzinu, uz skladišni kapacitet broda (K_0).

U prikazu se pošlo od pretpostavke da zahtijevana snaga pomoćnih strojeva tijekom plovidbe iznosi približno 5% instalirane snage glavnog stroja.

Cijena goriva određuje se prema prosječnoj cijeni goriva na opskrbnim terminalima u području plovidbe broda, to jest u lukama gdje se uobičajeno opskrbljuje gorivom.

Troškovi se za gorivo razmatraju kao troškovi za gorivo glavnoga stroja i troškovi za gorivo pomoćnih strojeva. Troškovi za gorivo glavnoga stroja ovise o zahtijevanoj snazi kojom se postiže planirana brzina broda. Za grubu procjenu zahtijevane snage (S_z) može poslužiti sljedeći oblik formule admiraliteta:

$$S_z = \frac{(\kappa \cdot K_0)^{2/3} \cdot V^3}{kA} \quad (4)$$

uzimajući da je:

$$D = \kappa \cdot K_0$$

pri čemu je : κ - omjer između skladišnog kapaciteta i istisnine procijenjen na temelju brodova sličnih dimenzija koji su istoga tipa,

V – brzina broda,

kA – konstanta admiraliteta,

D – deplasman broda.

Suvremenije i točnije metode za određivanje zahtijevane snage stroja, najčešće se koriste izrazima koji polaze od ukupnog otpora broda, brzine, učinkovitosti poriva i učinkovitosti vijka.⁵

U prikazu je za određivanje zahtijevane snage glavnoga porivnog sustava uzeta transformirana formula admiraliteta zbog izravne povezanosti kapaciteta i brzine broda.

Troškovi za teško gorivo u plovidbi (ttg_p) mogu se prikazati sljedećim izrazom:

$$ttg_p = ctg \cdot \sum_{i=1}^{n-1} 24 \cdot qtg \cdot Sz_i \cdot dPl_i \quad (5)$$

⁵ Ibidem, str 185.

gdje je: qtg – specifična potrošnja goriva glavnoga pogonskog stroja po satu,

ctg – cijena teškoga goriva.

Specifična potrošnja teškoga goriva za određenu vrstu pogona malo varira u odnosu prema broskom deplasmanu pa se za potrebe ovoga prikaza može smatrati konstantom.

Polazeći od razmatranja pojedinih autora i iskustvenih spoznaja daje se pretpostaviti da je potrošnja goriva pomoćnih strojeva približno 5% potrošnje glavnoga pogonskog stroja. Na temelju te pretpostavke o međuovisnosti instalirane snage glavnoga porivnog sustava i ukupne snage pomoćnih strojeva, potrošnja goriva za pomoćne brodske strojeve tijekom plovidbe (tlg_p) može se odrediti s pomoću izraza:

$$tlg_p = (ctg \cdot 0,05 \cdot 24 \cdot qtg \cdot Si \cdot \sum_{i=1}^{n-1} dPl_i) \quad (6)$$

gdje je: Si – instalirana snaga glavnoga stroja,

ctg – cijena lakoga goriva.

Potrebno je napomenuti da su suvremeni brodovi redovito opremljeni osovinskim generatorom koji isključuje uporabu pomoćnih strojeva tijekom plovidbe u povoljnim vremenskim uvjetima. Upotrebom osovinskoga generatora smanjuje se porivna snaga, a time i brzina broda. Za održavanje iste porivne snage, dakle i brzine broda, zahtijeva se određeno povećanje u potrošnji goriva. Na temelju iskustvenih spoznaja proizlazi da je ukupni utrošak goriva približno jednak pri korištenju osovinskim generatorom ili generatorima pogonjenima pomoćnim broskim strojevima. Ušteda se očituje u smanjenju troškova održavanja pomoćnih strojeva.

Ukupan trošak za gorivo tijekom plovidbe broda (TgP) se stoga prikazuje kao zbroj troška za lako i za teško gorivo:

$$TgP = ttg_p + tlg_p \quad (7)$$

Troškovi za prolazak kanalima / Channels Passing Costs

Znatan izdatak je trošak za prolazak kanalima. Pristojbe se za to redovito određuju na temelju bruto-tonaže broda. Prolazak je tako Panamskim i Sueskim kanalom uvjetovan posjedovanjem posebnih svjedodžba o bruto-tonaži (*Suez canal tonnage certificate* i *Panama canal tonnage certificate*), koja se određuje prema posebnim pravilima uprava kanala, a služe za utvrđivanje visine pristojbe.

Trošak za prolazak kanalima (TpK) zasniva se na broskoj bruto-tonaži i prikazan je izrazom:

$$TpK = \kappa_j \cdot K_0 \sum_{j=1}^n tax_j \quad (8)$$

$$BT = \kappa_j \cdot K_0$$

gdje je: κ_j – omjer između skladišnog kapaciteta i bruto-tonaže procijenjen na temelju brodova sličnih dimenzija koji su istoga tipa,

tax_j – pristojba po jedinici kapaciteta za određeni kanal,

BT – brodske bruto-tonaža.

VRIJEME PROVEDENO U PLOVIDBI / *Time Spent in Navigation*

Vrijeme provedeno u plovidbi obuhvaća segmente plovidbe između pojedinih luka na jednom putovanju. Svaki od tih segmenata u ovom prikazu obuhvaća

$$\sum_{i=1}^{n-1} dPl_i = \frac{DI}{24 \cdot V} \quad (9)$$

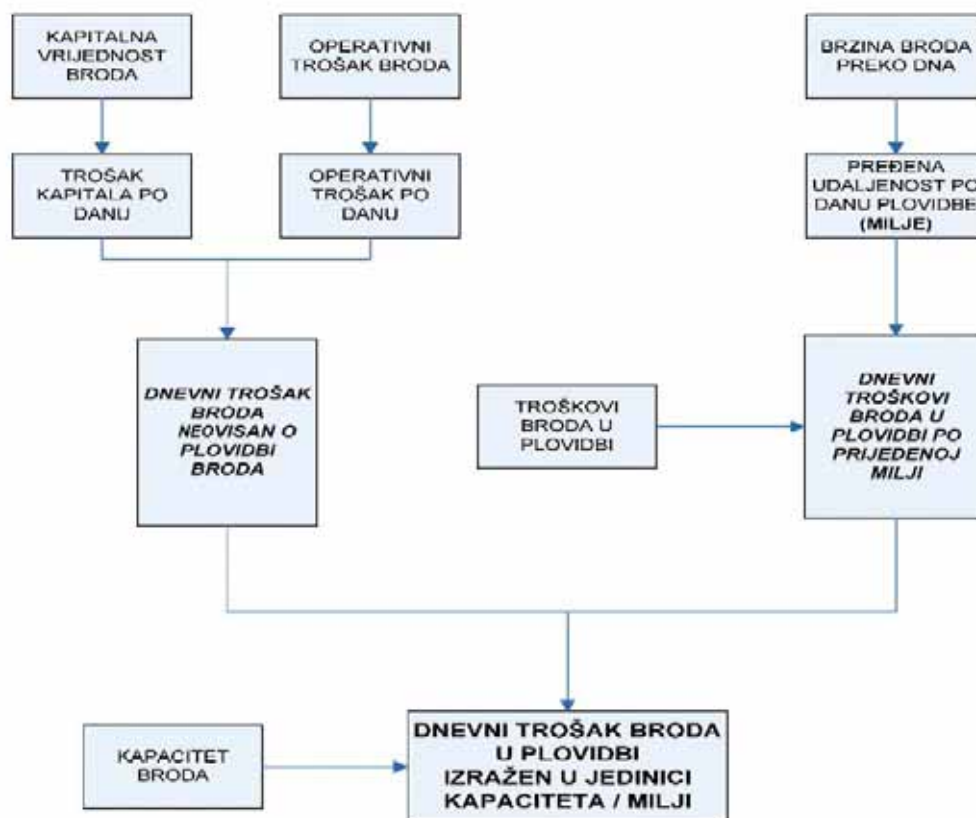
gdje je: DI - prevaljena udaljenost u plovidbi.

UKUPNI TROŠKOVI BRODA U PLOVIDBI / *Total Costs of Ship in Navigation*

Ukupni brodski troškovi tijekom plovidbe općenito obuhvaćaju njihove tri skupine i mogu se prikazati izrazom:

$$TuP = Taš + TgP + TpK \quad (10)$$

Ukupan dnevni trošak tijekom plovidbe čime segmenti troškova izvedeni sintezom u sljedećem prikazu:



Izvor: Izradili autori.

Slika 2. Prikaz ukupnoga dnevnog troška broda po jedinici kapaciteta u plovidbi
Figure 2. Daily cost per unit of ships capacity at sea

vremensko razdoblje od trenutka kad je brod završio s manevrom odlaska i zaplovio predviđenom brzinom plovidbe (eng. *Full Away on Sea Passage*) do trenutka kada je brod pripremljen za manevar prilaska luci (eng. *End of Sea Passage*). Zbog toga se ukupan broj dana provedenih u plovidbi daje prikazati izrazom:

Iz prikaza na slici 2. izlazi da je ukupan dnevni trošak broda u plovidbi uvjetovan samom plovidbom i troškovima koji nisu povezani sa samom plovidbom. To su troškovi pri boravku broda u luci (segment troškova obuhvaćen nazivom *operativni troškovi* detaljnije će se razmatrati u jednom od sljedećih radova).

ZAKLJUČAK / Conclusion

Specifični troškovi broda koji se pojavljuju u segmentu pomorskoprijevoznog procesa a odnose se na plovidbu, raščlanjeni su na tri osnovne skupine: troškove proporcionalne prijevoznom učinku broda, troškove za gorivo, troškove za prolazak kanalima. Troškovi proporcionalni prijevoznom učinku obuhvaćaju troškove koji umanjuju vozarinu kao naknadu za obavljenу uslugu u pomorskoprijevoznom procesu. Osnovne skupine tih troškova čine špeditorske i agencijske provizije. Kao obilježja broda koja izravno utječu na prijevozni učinak navedeni su skladišni brodski kapacitet i njegov porivni sustav.

Skupinu obilježja broda koja izravno utječu na utrošak goriva, pa samim time i na troškove koji iz toga proizlaze, čine brodski porivni sustav, oblik trupa i glavne dimenzije broda. Troškovi za gorivo razmatrani su kao troškovi za gorivo glavnog stroja i troškovi za gorivo pomoćnih strojeva. Pri određivanju troškova za gorivo glavnoga porivnog sustava u radu se polazilo od zahtijevane snage kojom se postiže potrebna brzina broda na određenom segmentu putovanja. Približna potražnja goriva pomoćnih strojeva tijekom plovidbe zasniva se na međuovisnosti instalirane snage glavnoga porivnog sustava i ukupne snage pomoćnih strojeva.

Trošak za prolazak kanalima znatan je izdatak na putovanju broda, a pristojbe za prolazak kanalima redovito se određuju na temelju bruto-tonaže broda.

Pojedini segmenti plovidbe broda kao dijelovi pomorskoprijevoznog procesa u ovom su radu prikazani vremenskim razdobljem od trenutka kad je brod završio manevar odlaska i zaplovio predviđenom brzinom plovidbe (eng. *Full Away on Sea Passage*) do trenutka kada je brod pripremljen za manevar prilaska luci (eng. *End of Sea Passage*). Na taj način u potpunosti je definirana plovidba broda, koja se odvija predviđenom brzinom plovidbe od vremenskog razdoblja prilaska i prihvata broda u luci koje je uvjetovano manevarskom brzinom.

LITERATURA / References

1. Abhijit D., Ashish K., Deepek G., Optimization of Vessel's Parameters through Spreadsheet Model, Department of Marine Engineering, Jadavpur University, Kolkata, 2004
2. Bonefačić, B., „Prilog procjeni najpovoljnije istisnine linijskog broda s gledišta troškova eksploatacije“, Zbornik radova Fakulteta za pomorstvo i saobraćaj, Rijeka, 1979.
3. Chaug, I, Yu-Ping H., „Shipping Economic Analysis for Ultra Large Containership“, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 936 - 951, 2005

4. Glavan, B., *Ekonomika morskog brodarstva*, Školska knjiga, Zagreb, 1992.
5. Ivče, R., „Doprinos učinkovitosti prijevoza kontejnera manjim feeder-brodovima u zatvorenim morima“, doktorska disertacija, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2008.
6. Janson, J. O. i D. Shneerson, *Liner Shipping Economics*, Chapman and Hall Ltd, London, 1987
7. Jugović, A., Jugović Poletan, T., Petrović, G.: „Kopnena prometna infrastruktura u funkciji razvitka pomorskoputničkih luka RH“, *Suvremeni promet*, god. 26, br. 1-2, Hrvatsko znanstveno društvo za promet, Zagreb, 2006., str. 59-63.
8. Jugović, A., Perić, A., Kolanović, I., „Principles for Management and Development of Sea Passenger Ports“, *Promet-Traffic & Transportation Scientific Journal on Traffic and Transportation Reserach*, 18 (2006), 1, Sveučilište u Zagrebu Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
9. Jugović, A., Mezak, V., Hess, S.: „Prilog istraživanju planiranja lučkih kapaciteta luke Rijeka“, *Ekonomika istraživanja-Economic Research*, Vol. 21, No. 2, Sveučilište "Jurja Dobrila" - Odjel za ekonomiju i turizam "Dr. Mijo Mirković", Pula, 2008.
10. Kesić, B., Jugović, A., Perko, N., „Potrebe i mogućnosti organizacije logističko-distribucijskog centra u riječkoj regiji“, *Pomorski zbornik, Annals of Maritime Studies*, God. 42., Društvo za proučavanje i unapređenje pomorstva Republike Hrvatske, Rijeka, 2005.
11. Komadina, P., „Utjecaj ekonomskih kriterija na optimalnu veličinu tankera“, doktorska disertacija, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka 1991.
12. Mezak, V., Perić, A., Jugović, A., „The Long-term Port Development Strategy Planning Elements“, *Pomorstvo, Journal of Maritime Studies*, God. 20., 2., Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2007.
13. Rubinić, I., *Ekonomika brodarstva*, Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka, 1976.
14. Schneekloth, H., Bertram, V., *Ship Design for Efficiency and Economy*, Butterworth, Oxford, 1998
15. Stopford, M., *Maritime Economics*, TJ International Ltd, Cornwall, 2000
16. Zelenika, R., *Prometni sustavi: tehnologija - organizacija - ekonomika - logistika - menadžment*, Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2001.
17. www.iisd.org/business (15. 7. 2008.)

Rukopis primljen: 10. 3. 2009.