



DEKOMPOZICIJA POTROŠNJE I ANALIZA POTENCIJALNE UŠTEDE GORIVA TIJEKOM BRODSKE PLOVIDBE (Rad po pozivu)

doc. dr. sc. Tatjana Stanivuk, email: tstanivu@pfst.hr

Pomorski fakultet u Splitu, Sveučilište u Splitu

Ajka Relja, mag. math., email: ajka.relja@gmail.com

Sveučilište u Splitu

Lucijan Tiganj, student, email: ltiganj@pfst.hr

Pomorski fakultet u Splitu, Sveučilište u Splitu

Sažetak : Rad se bavi analizom godišnjih izvješća statistika svih nezgoda koje su se dešavale u Troškove broda tijekom plovidbe dijelimo na tri osnovne skupine: troškove ovisne o prijevoznom učinku broda, troškove goriva i one prolaska kanalima. S obzirom na trend porasta cijene, troškovi goriva unutar ukupnih izračuna predstavljaju jednu od značajnijih financijskih stavki. Zbog potrebe izračuna standardnih troškova goriva, polazimo od glavne podjele na korištenje teških i lakih goriva, redom za glavni pogonski stroj te pomoćne strojeve. Veliki dio mogućnosti smanjena troškova goriva proizlazi upravo iz razumijevanja osnovnih karakteristika te iskorištavanja specifičnih svojstava kako teških, tako i lakih goriva. Glavno svojstvo viskoziteta odnosi se na njegovo opadanje s porastom temperature, čime se smanjuje i sama potrošnja goriva. U ovom radu procijenit ćemo maksimalnu količinu uštede troškova goriva manipulacijom viskozitetom goriva na temelju već postojećih simuliranih modela i trenutanih srednjih cijena goriva za proteklu 2016. godinu. Takva metoda kompatibilna je s ostalim pristupima uštede goriva koji su već implementirani na brodu, te uslijed toga ne zahtijeva značajnija dodatna ulaganja.

Ključne riječi: ušteda goriva, trošak, svojstva goriva, viskozitet.

CONSUMPTION DECOMPOSITION AND ANALYSIS OF THE POTENTIAL FUEL SAVINGS DURING THE SHIP'S VOYAGE (Invitation paper)

Abstract: The expenses of the ship during the voyage can be divided into three basic categories: cargo-handling depended costs, fuel costs and canal dues. Given the upward trend in prices, the cost of fuel in the total calculation represents one of the major financial items. The standard fuel costs include the cost for the usage of heavy and light fuels, for the main propulsion plant and auxiliary machinery respectively. Numerous possibilities of reducing the fuel cost can come from understanding and exploiting the basic characteristics of specific fuel properties. The main property of viscosity is attributed to its decline with increasing temperature, thus reducing the fuel consumption. In this paper we estimate the maximum amount of savings in the fuel costs by the fuel viscosity manipulation on the basis of existing model, but based on the average prices of fuel for the year 2016. Such method is compatible with other approaches of fuel savings that may already be implemented on board, and does not require any additional investments.

Keywords: fuel savings, expenses, fuel properties, viscosity.

1. Uvod

Važan čimbenik prilikom optimizacije brodskog kapaciteta jest trošak pomorsko prijevoznog procesa koji se pojavljuje tijekom plovidbe te samog boravka broda u luci. Sastavni dio oba



navedena troška je i onaj operativnih procesa koji se uobičajeno promatra kao izdvojena skupina²⁹.

U kontekstu suvremenih razmatranja optimizacije troškova tijekom brodske plovidbe, a s obzirom na trend porasta cijena goriva, troškovi goriva unutar ukupnih izračuna predstavljaju jednu od značajnijih financijskih stavki, stoga postoje različita nastojanja kako bi se ona donekle smanjila. S tim ciljem kontinuirano se pokušavaju unaprijediti i optimizirati svojstva broskog porivnog sustava, oblik broskog trupa te glavne brodske dimenzije.³⁰ Također ističu se moguća rješenja kao što su dodavanje raznih aditiva gorivu, izrada kvalitetnijih obrada goriva u broskog sustavu ili analiza sastava goriva (udjeli vanadija, sumpora, natrija, itd.).³¹ Jedan od takvih pokušaja je i iskorištavanje viskoziteta kao značajnog svojstva goriva korištenog za rad broskog porivnog sustava. U smislu razvijanja predikacijskih modela, radi se na modeliranju vrijednosti viskoziteta preko temperature i tlaka.^{32,33} Manipulacije te iskorištavanje toga svojstva u konačnici mogu dovesti do značajnog smanjenja potrebne količine goriva, a time izravno i do smanjenja ukupnih troškova tijekom brodske plovidbe.

2. Ukupni troškovi tijekom brodske plovidbe

Analizom specifičnih troškova plovidbenog pomorsko prijevoznog procesa, troškovi se dijele na tri osnovne skupine; troškove ovisne o prijevoznom učinku broda, troškove goriva i one prolaska kanalima^{34,35} (Slika 1.).

Troškovi ovisni o prijevoznom učinku broda proporcionalni su količini jediničnog tereta koji se prevozi na ugovorenu udaljenost, pa izravno utječu na smanjenje ukupne dogovorene cijene vozarine za obavljeni rad, u ovom slučaju prijevoz tereta na određenu lokaciju. Specifikacije kao što su veličina skladišnog broskog kapaciteta, te svojstva porivnog sustava određuju maksimalnu količinu prihvatnog tereta prema kojima se izračunava špediterska i agencijska provizija. Tako veća količina prihvatnog tereta znači veći priljev vozarine ali i povećanje provizijskih troškova.³⁶

²⁹ Alizadeh, A., Nomikos, N., (2009), *Shipping Derivates and Risk Management*, London: Palgrave MacMillan.

³⁰ Campana, E.F. et al., (2009), "New global optimization methods for ship design problems", *Optimization and Engineering*; 10 (4): 533-555.

³¹ Jang, S. H., Choi, J. H., (2016), "Comparison of fuel consumption and emission characteristics of various marine heavy fuel additives", *Applied Energy*; 179: 36-44.

³² Saeed, S., Aboul-Fotouh, T.M., Ashour, I., (2016), "A current viscosity of different Egyptian crude oils: measurements and modeling over a certain range of temperature and pressure", *Pet Coal*; 58 (6): 611-621

³³ Knežić, D., Savić, V., (2006), "Mathematical modeling of changing of dynamic viscosity, as a function of temperature and pressure, of mineral oils for hydraulic systems", *Mechanical Engineering*; 4 (1): 27 – 34.

³⁴ Alizadeh, A., Nomikos, N., (2009), *Shipping Derivates and Risk Management*, London: Palgrave MacMillan, str. 43.

³⁵ Ivčević, R., Jugović, A., Kos, S., (2009), "Određivanje troškova broda u plovidbi poradi uspješnosti izvođenja optimizacije broskog kapaciteta", *Naše more*; 56 (1-2): 10-15.

³⁶ Ibidem

Slika 1. Osnovna dekompozicija ukupnog troška tijekom brodske plovidbe.



Izvor: autori. Minijature preuzete s interneta.

3. Brodska goriva i njihova svojstva

Troškovi goriva u središtu su interesa brodograditelja, proizvođača strojeva i brodara. Krajnji cilj optimizacije gore navedenih svojstava koji izravno utječu na ukupnu potrošnju goriva tijekom broskog putovanja jest smanjenje takvih troškova. Prije provedena istraživanja pokazuju kako veća instalirana snaga broda uvjetuje veću potrošnju goriva⁴⁰ te kako oblik i stanje trupa izravno utječe na potrebnu snagu poriva, pa samim time i na potrošnju goriva.⁴¹ Također, optimizacijom broskog vijka korekcijom uspona, utvrđeno je poboljšanje izlaznih performansi broda uz smanjenje potrošnje goriva do 16%.⁴² Ujedno se pokazala i 25% ušteda troškova nakon ukupnog dotjerivanja broskog oblika i izvedbe broskog vijka te redukcije broja okretaja i ugradnje sporookretnih porivnih motora.⁴³

³⁷Ibidem

³⁸Stanivuk, T. et al., (2013), "Troškoviprijevoza LNG-a morskimpravicima", *Suvremenipromet; časopiszapitanjateorijeiprakseprometa*; 33 (1-2): 30-33.

³⁹Ibidem

⁴⁰Janson i Shneerson, 1987. prema Ivče, R., Jugović, A., Kos, S., (2009), "Određivanje troškova broda u plovidbi poradi uspješnosti izvođenja optimizacije broskog kapaciteta", *Naše more*; 56 (1-2): 12.

⁴¹Glavan, 1992. prema Ivče, R., Jugović, A., Kos, S., (2009), "Određivanje troškova broda u plovidbi poradi uspješnosti izvođenja optimizacije broskog kapaciteta", *Naše more*; 56 (1-2): 12.

⁴²Vetma, V. et al., (2012), "Optimiziranje broskog vijka s konstantnim usponom", *Scientific Journal of Maritime Research*; 26 (2): 375-396.

⁴³Tireli, E., (2005), *Goriva i njihovaprimjenanabrodu*, Rijeka: Pomorskifakultet.



Sve postojećenavedene uštede troškova brodskog goriva postignute su optimiziranjem dijelova brodskog porivnog sustava ili poboljšanjem ukupnog brodskog projekta, ali veliki dio mogućnosti poboljšanja također proizlazi upravo iz razumijevanja osnovnih značajki te iskorištavanja specifičnih svojstava kako teških, tako i lakih goriva. Teško gorivo ostatak je frakcijske destilacije sirove nafte, dok je lako gorivo kvalitetnija frakcija nafte, ali samim time i skuplja.

Osnovne razlike u značajkama goriva za pogon motora su sljedeće⁴⁴:

- a) VISKOZITET; zbog postizavanja dobrog raspršivanja pri ubrizgavanju, brodska teška goriva prije ubrizgavanja u cilindar moraju se zagrijati i do temperature od 145°C, dok se lagana ne moraju,
- b) UDIO SUMPORA; za brodsko teško gorivo maksimalna dopuštena količina udjela sumpora je 3.5 % m/m (01. siječanj 2012.- 1. siječanj 2020. god.), dok je u lakom brodskom gorivu taj udio do 0.1% m/m (od 1. siječnja 2015. god)⁴⁵,
- c) GUSTOĆA GORIVA; kvaliteta goriva implicitno ovisi o gustoći, pa što je gustoća veća, to je kvaliteta goriva niža i obrnuto. Gustoća se obično određuje pri temperaturi od 15,5°C i dijeli se na vrlo laka goriva (do 650 kg/m³), laka (od 650 do 755 kg/m³), srednja (od 755 do 920 kg/m³) i teška goriva (920-1015 kg/m³),
- d) TEMPERATURA SKRUČIVANJA; temperatura pri kojoj gorivo prestaje biti tečno a do toga dolazi kristalizacijom parafina iz goriva. Za brodska teška goriva temperatura je od 24 do 30 °C, za brodska laka goriva je u granicama od -6 °C do 0 °C.
- e) UDIO VANADIJA; vanadij se tijekom izgaranja goriva veže u spoj vanadij-pentoksid koji se taloži na okolnim površinama tako stvarajući opasnost od korozije. U brodskom teškom gorivu dopušten je udio od 150 do 600 ppm, a u brodskom lakom gorivu najviše do 100 ppm,
- f) CETANSKI BROJ; mjerilo kvalitete, označava samozapaljivost goriva pri višim temperaturama. Što je veći cetanski broj to je bolja zapaljivost goriva. Za brodska teška gorivavrijednosti cetanskog broja su od 28 do 30, za brodska laka goriva od 32 do 48 (usporedba; eurodizel za motorna vozila ima cetanski broj 54),
- g) OSTATAK UGLJIK PRI IZGARANJU (*Conradsov broj*): za brodska dizelska goriva iznosi od 0,14 do 3%, a za brodska teška goriva od 10 do 22% masenog udjela,
- h) UDIO PEPELA; u brodskom teškom gorivu dopušten je maseni udio od 0,1 do 0,2%, u brodskom dizelskom gorivu od 0,01 do 0,05% masenog udjela,

⁴⁴Ibidem

⁴⁵Usp. MARPOL annex VI, propis 14.

([http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93Regulation-14.aspx))



- i) UDIO VODE; voda snižava ogrjevnju vrijednost goriva te otežava filtriranje. U brodskom teškom gorivu dopušten volumni udio je od 0,5% do 1%, a u brodskom dizelskom gorivu najviše do 0,2% volumnog udjela.

3. Viskozitet

Viskoznost ili viskozitet fluida (tekućine ili plina) odnosi se na pojavu koju obilježava trenje koje nastaje pri strujanju fluida kao posljedica različitih gibanja njegovih slojeva. Glavni razlog postojanja takvih sila trenja su međumolekulske kohezijske sile unutar samog fluida, te one adhezijske između fluida i krutog tijela kojim se odvija strujanje.

Kinematički viskozitet predstavlja omjer dinamičke viskoznosti i gustoće fluida. Jedinica kinematičkog viskoziteta je kvadratni metar po sekundi (m^2/s), određena kao kinematički viskozitet homogenog fluida kojemu je dinamički viskozitet jednak jednoj Paskal sekundi (Pa s), a gustoća jednom kilogramu po kubičnom metru (kg/m^3). Fizikalna jedinica za kinematički viskozitet izražava se ponekad i preko centistoksa (cst), pri čemu je $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Viskozitet svih tekućina opada s porastom temperature jer toplinsko gibanje smanjuje privlačne međumolekulske sile, a takva ovisnost za različite tipove goriva prikazana je primjerom na motoru *Sulzer RTA48T-BS* likom 2.⁴⁶ S obzirom da su prikazane ovisnosti za različite vrste goriva, pripadajući nagibi pravaca ovise upravo o strukturi nafte iz koje su nastali, komponentama iz kojih su miješani te tehnološkom procesu njihova dobivanja. Za traženi viskozitet goriva dovoljno je iščitati temperaturu za koju se on postiže.

Rezultati stručnih studija unutar kojih su korištene različite simulacije pokazale su, pored ostalog, kako se smanjivanjem viskoziteta goriva koje podrazumijeva njegovu veću temperaturu, smanjuje i sama potrošnja goriva. Toplina potrebna za zagrijavanje preuzima se iz količine topline ispušnih plinova, pa se takvim zagrijavanjem dodatno ne opterećuje motor, odnosno, njegova potrebna snaga ostaje ista. Visokotlačna pumpa zbog povećanja volumena zagrijanog goriva ima veći indeks jer tlači veći volumen, ali takva promjena indeksa nema utjecaja na potrošnju goriva, pa se kao konačni ishod zagrijavanja goriva dobije smanjenje njegove potrošnje.⁴⁷ Konkretni podaci ovisnosti temperature, viskoziteta i potrošnje goriva te indeksa visokotlačne pumpe dobiveni simulacijom na *NOR Control* simulatoru dani su Tablicom 1.

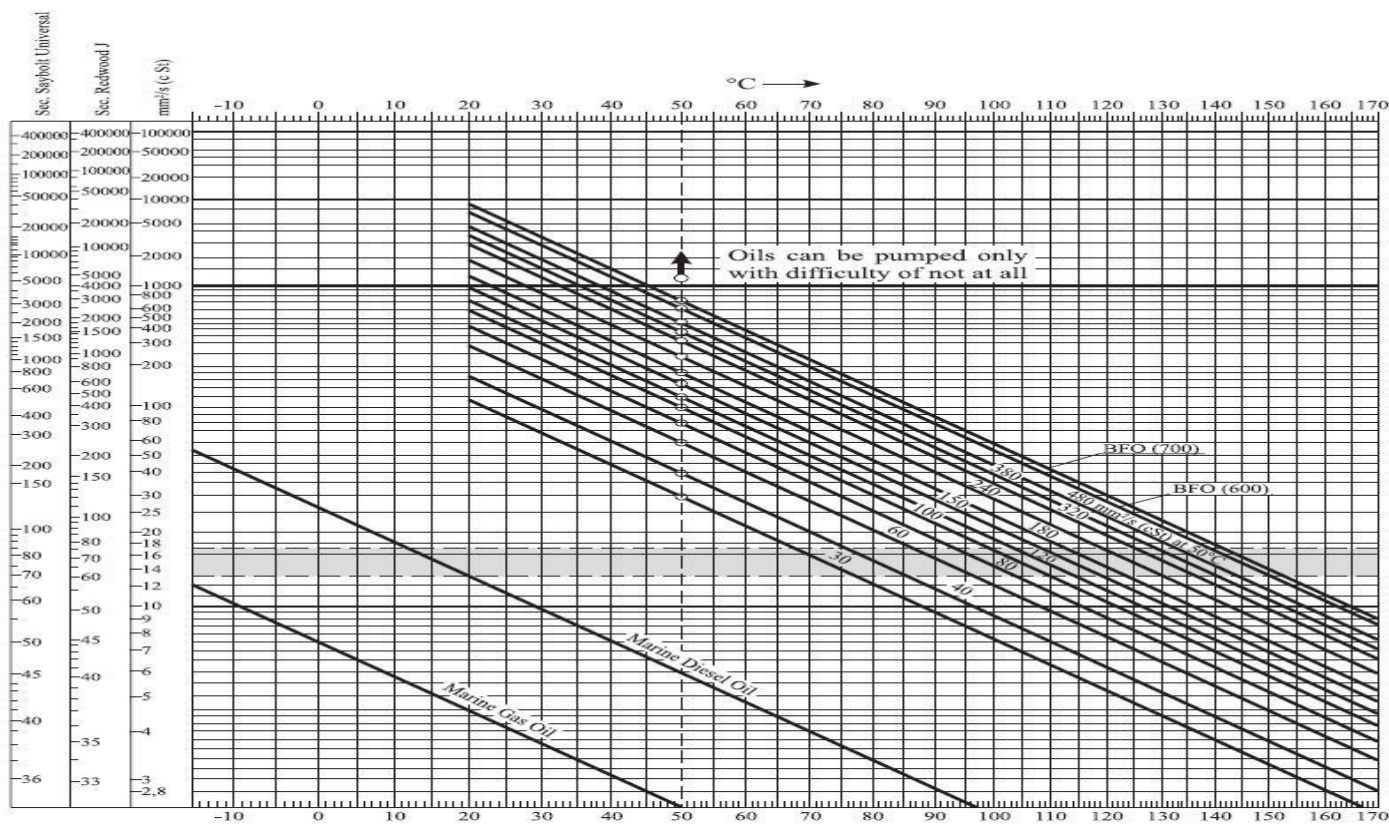
⁴⁶ Baraka, B.L., Orović, J., (2004), "Analiza uštede goriva brodskog porivnog motora", *Pomorskizbornik*; 41 (1): 107.

⁴⁷ Ibidem



Temperatura goriva (°C)	Viskozitet goriva (cSt)	Potrošnja goriva (t/h)	Indeks visokotlačne pumpe (%)
97,17	17	3,51	92,6
99,93	16	3,51	92,6
103,25	15	3,50	92,7
106,74	14	3,48	92,7
110,09	13	3,48	92,9
115,12	12	3,47	93,0
120,45	11	3,46	93,2
127,87	10	3,45	93,6

Slika 2. Ovisnost viskoziteta i temperature.



Izvor: Wartsila NSD Ltd: Engine documentation Sulzer RTA48T-B, 2000, prema Baraka



4. Troškovi goriva za vrijeme brodske plovidbe

Brod se za vrijeme brodske plovidbe opskrbljuje gorivom iz različitih pristanišnih terminala ili brodskih luka. Za određivanje cijene goriva izračunava se aritmetička sredina svih cijena goriva s uobičajenih opskrbnih pristaništa. Takvi troškovi obuhvaćaju one zahtijevane u odnosu na dva tipa potrošnje; troškovi za gorivo glavnog porivnog stroja te oni goriva pomoćnih strojeva.⁴⁸

Troškovi glavnog stroja, u smislu potrošnje goriva, uglavnom ovise o planiranoj brzini broda tijekom brodske plovidbe prema određenim segmentima putovanja koja zahtijeva određenu izvršnu snagu porivnog sustava, tzv. instaliranu snagu. Za stjecanje grube procjene tako zahtijevane snage (S), a i zbog izravne povezanosti kapaciteta s brzinom broda, promatra se sljedeća formula admiraliteta⁴⁹:

$$S = \frac{\sqrt[3]{D^2 \cdot v^3}}{K_a} = \frac{\sqrt[3]{(\kappa \cdot K_0)^2 \cdot v^3}}{K_a}, \text{ pri čemu je}$$

D	istisnina ili deplasman broda
K_0	skladišni kapacitet
κ	omjer skladišnog kapaciteta i istisnine, procijenjen temeljem brodova istog tipa
v	brzina broda
K_a	konstanta admiraliteta

Prikupljanjem podataka o otporu i propulziji za različite grupe brodova, te njihovom statističkom obradom, snaga se češće procjenjuje kao funkcija koeficijenta istisnine κ .

Također postoje i druge modernije metode za finije utvrđivanje zahtijevane snage koje se oslanjaju na brzinu te učinkovitost porivnog sustava te samu učinkovitost vijka.⁵⁰

Troškovi za teško gorivo u plovidbi ($troškovi_{tgp}$) prikazuju se sljedećim izrazom⁵¹:

$$troškovi_{tgp} = 24 \cdot cijena_{tg} \cdot Q_{tg} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} S_i \cdot dP_i$$

pri čemu je:	Q_{tg}	specifična potrošnja goriva glavnog pogonskog stroja po satu
	$cijena_{tg}$	cijena teškog goriva
	S_i	zahtijevana snaga na putovanju od luke i do luke $i + 1$
	dP_i	duljina puta između luke i do luke $i + 1$.

S obzirom da potrošnja teškog goriva značajno ne varira u odnosu prema deplasmanu broda, ovakvi se troškovimogu smatrati konstantnom. Temeljem iskustvenih spoznaja te razmatranja pojedinih autora uzima se kako je potrošnja goriva pomoćnih strojeva približno 5% potrošnje goriva glavnog pogonskog stroja. Temeljem takvih pretpostavki, međuovisnosti zahtijevane snage glavnog porivnog stroja i ukupne snage pomoćnih strojeva, te same činjenice kako

⁴⁸Ivče, R., Jugović, A., Kos, S. (2009), "Određivanje troškova broda u plovidbi poradi uspješnosti izvođenja optimizacije brodske kapaciteta", *Naše more*, 56 (1-2): 10-15.

⁴⁹Ibidem

⁵⁰Glavan, 1992. prema Ivče, R., Jugović, A., Kos, S. (2009), "Određivanje troškova broda u plovidbi poradi uspješnosti izvođenja optimizacije brodske kapaciteta", *Naše more*, 56 (1-2): 13.

⁵¹Ivče, R., Jugović, A., Kos, S. (2009), "Određivanje troškova broda u plovidbi poradi uspješnosti izvođenja optimizacije brodske kapaciteta", *Naše more*, 56 (1-2): 10-15.



pomoćni strojevi troše lako gorivo, ukupna potrošnja lakog goriva za pomoćne strojeve tijekom brodske plovidbe ($troškovi_{lgp}$) određuje se sljedećim izrazom:

$$troškovi_{lgp} = 0.05 \cdot cijena_{lg} \cdot 24 \cdot Q_{tg} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} S_i \cdot dP_i$$

pri čemu je $cijena_{lg}$ predstavlja cijenu lakog goriva. Slijedom svega navedenoga, ukupan trošak goriva tijekom brodske plovidbe ($Trošak_{gp}$) može se prikazati kao zbroj troškova za lako i teško gorivo; $Trošak_{gp} = troškovi_{tgp} + troškovi_{lgp}$.⁵²

5. Analiza uštede goriva manipulacijom viskoziteta goriva

Slijedeći preporuku proizvođača motora, brodski porivni sustav za svoj rad i pokretanje može koristiti samo gorivo određenog viskoziteta. Najčešće preporučeni intervali viskoziteta su od 10 cSt do 15 cSt⁵³, ili 13 cSt do 17 cSt⁵⁴. Brod u prosjeku tijekom godine provede deset mjeseci u plovidbi, stoga jednostavnim računom slijedi kako se grubom procjenom ocjenjuje ukupna količina neprestanog rada porivnog sustava na sedam tisuća i dvjesto sati. Uz tako definirane raspone dopuštenog ili preporučenog viskoziteta goriva prije ubrizgavanja u motor i pretpostavku količine aktivnog rada porivnog sustava, a koristeći podatke iz stručne studije koja je simulirala ovisnost različitih dopuštenih viskoznosti goriva i njegove same potrošnje (Tablica 1.) može se izračunati ukupna količina potrošenog goriva tijekom godine. Godišnja potrošnja goriva (t/god) dobiva se jednostavnim računom; umnoškom potrošnje goriva po satu (t/h) i ukupnog broja sati rada brodskog poriva (h/god).

Pa tako godišnja potrošnja goriva viskoznosti 10cSt

$$3.45 \frac{t}{h} \cdot 7200 \frac{t}{god} = 24840 \frac{t}{god},$$

onog viskoznosti 15 cSt ukupno

$$3.50 \frac{t}{h} \cdot 7200 \frac{t}{god} = 25200 \frac{t}{god},$$

dok onog najviše preporučene viskoznosti

$$3.51 \frac{t}{h} \cdot 7200 \frac{t}{god} = 25272 \frac{t}{god}.$$

Na temelju simulacije izračunata razlika ukupne potrošnje goriva na godišnjoj razini s obzirom na maksimalne i minimalne vrijednosti preporučenog viskoziteta goriva za glavni poriv iznosi 432 tone. Gorivo korišteno za simulaciju miješano je gorivo koje se rijetko koristi u praksi, te njegova cijena nije izravno definirana. Ukupnu uštedu tako za ovaj primjer nije moguće izračunati, egzaktna ušteda razlikuje se s obzirom na odabrani viskozitet te cijenu goriva u brodskoj luci u kojoj je brod opskrbljen. Krajnji iznos uštede u trošku za gorivo tako će varirati jer se cijena goriva svakodnevno mijenja od lokacije do lokacije luke, ali podjednako se razlikuje i za različite vrste goriva. Ilustrativnim primjerom na Slici 2. prikazano je kretanje cijena goriva vrlo lakog dizelskog goriva MGO (eng. *Marine Gas Oil*) i miješanog goriva IFO380 (eng. *Intermediate fuel oil*, maksimalne viskoznosti 380 cSt) u

⁵²Ibidem

⁵³Martinović 2000. prema Baraka, B.L., Orović, J., (2004), "Analiza uštede goriva brodskog porivnog motora", *Pomorskizbornik*; 41 (1): 109.

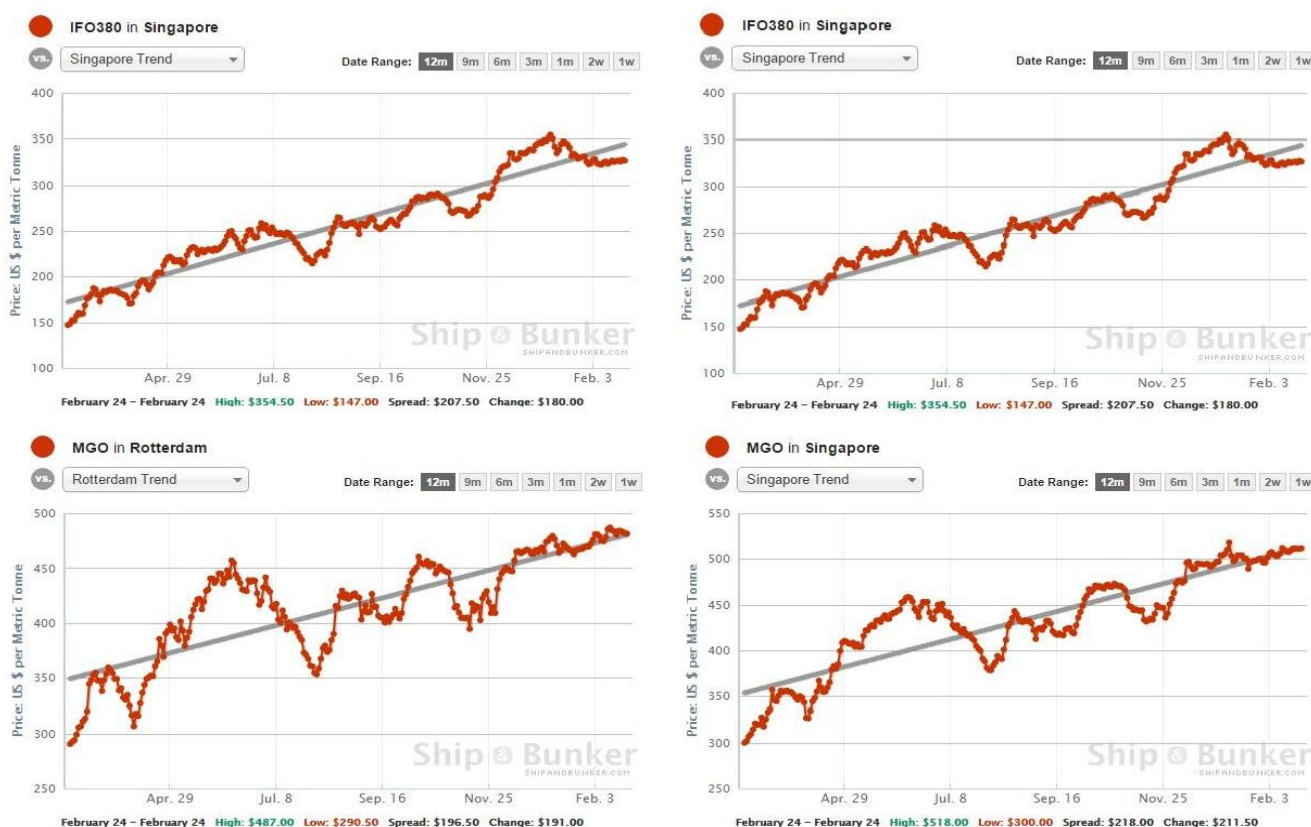
⁵⁴Wartsila NSD Ltd: *Engine documentation Sulzer RTA48T-B*, 2000. prema Baraka, B.L., Orović, J., (2004), "Analiza uštede goriva brodskog porivnog motora", *Pomorskizbornik*; 41 (1): 109.



lukama Rotterdam i Singapur za razdoblje od 24. veljače 2016. godine do 24. veljače 2017. godine. Podaci cijena goriva također ukazuju na linearan trend porasta cijena koji će se zasigurno nastaviti i u narednim godinama.

Prema podacima srednjih vrijednosti cijene goriva u dvadeset velikih globalnih luka (Busan, Colombo, Durban, Fujairah, Gibraltar, Hong Kong, Houston, Istanbul, LA/Long Beach, Las Palmas, Mumbai, New York, Panama, Piraeus, Rotterdam, Santos, Shanghai, Singapore, St Petersburg, Tokyo) za proteklu 2016. godinu⁵⁵, jednostavnim računom dolazi se do sljedećih potencijalnih ušteda potrošnje goriva:

- IFO 380: srednja vrijednost cijena iznosi 254,25 USD po toni, ukupna maksimalna godišnja ušteda manipulacijom viskoziteta iznosi 109,836.00 USD;
- IFO 180: srednja vrijednost cijena iznosi 280,00 USD po toni, ukupna maksimalna godišnja ušteda manipulacijom viskoziteta iznosi 120,960.00 USD;
- MGO: srednja vrijednost cijena iznosi 466,50 USD po toni, ukupna maksimalna godišnja ušteda manipulacijom viskoziteta iznosi 201.528,00 USD.



Slika 3. Cijene goriva (IFO380, MGO) u lukama Singapur i Rotterdam od 24. veljače 2016. godine do 24. veljače 2017. godine.

⁵⁵<http://shipandbunker.com/prices>



Ako se promatra ukupna potencijalna ušteda tijekom cijelog eksploatacijskog vijeka broda od minimalno 25 godina, dolazi se do sljedećih brojki:

- IFO 380: ukupna ušteda 2.745.900,00 USD,
- IFO 180: ukupna ušteda 3.024.125,00 USD,
- MGO: ukupna ušteda 5.038.200,00 USD

Iako su navedeni izračuni ušteda temeljeni na podacima srednjih cijena goriva za 2016. godinu i kao takvi zbog stalnog rasta cijena goriva nisu dobar prediktor dugoročnih ušteda unutar troškova za gorivo, predstavljaju vrijednu aproksimativnu procjenu te opću spoznaju o snazi manipulacije viskozitetom čija je adaptacija isplativaneovisno o trenutnoj cijeni goriva. Uštede bi bile još značajnije kada bi se promatrale na razini čitave brodske kompanije koja posjeduje više brodova, gdje bi se ovakvim uštedama mogao osigurati značajan prostor za mogući kapitalni rast i ekspanziju flote.

Ovakva manipulacija viskozitetom nema utjecaja na radne dijelove motora jer su oni konstruirani i dimenzionirani za rad s gorivom najniže dopuštene kvalitete do maksimalne zagrijanosti od 150 °C.⁵⁶ Ovakav pristup predstavlja kompatibilnu nadopunu ostalim pristupima i modelima uštede goriva i za razliku od ostalih i najčešće primjenjivanih načina uštede, ne zahtijeva značajna inicijalna ulaganja kao ni veće investicijske zahvate.

6. Zaključak

Troškovi broda tijekom plovidbe dijele se na tri osnovne skupine: troškove ovisne o prijevoznom učinku broda, troškove goriva i one prolaska kanalima. S obzirom na trend porasta cijena goriva, najveći interes je upravo u smanjenu takvih troškova, pa se s tim ciljem kontinuirano pokušava unaprijediti i optimizirati svojstva broskog porivnog sustava, oblik broskog trupa te glavne brodske dimenzije. Veliki dio mogućnosti poboljšanja također proizlazi upravo iz razumijevanja osnovnih karakteristika te iskorištavanja specifičnih svojstava kako teških, tako i lakih goriva. Glavno svojstvo viskoziteta odnosi se na njegovo opadanje s porastom temperature, čime se smanjuje i sama potrošnja goriva. Prednost ovakvog pristupa prilikom redukcije troškova goriva jest u tome što je manipulacija viskozitetom kompatibilna s ostalim već implementiranim pristupima uštede goriva tijekom brodske plovidbe, te ne zahtijeva dodatna ulaganja jer se gorivo zagrijava toplinom ispušnih plinova, što u konačnici doprinosi značajnoj financijskoj uštedi. Stoga je i u buduću, zbog očiglednog trenda porasta cijena goriva, nužan kontinuirani i sustavni rad na daljnjem razvijanju i optimizaciji modela za prilagodbu viskoziteta goriva unutar porivnog sustava broda tijekom plovidbe.

LITERATURA

- [1] Alizadeh, A., Nomikos, N., (2009), *Shipping Derivates and Risk Management*, London: Palgrave MacMillan.
- [2] Baraka, B.L., Orović, J., (2004), "Analiza uštede goriva broskog porivnog motora", *Pomorskizbornik*; 41 (1): 105-114.

⁵⁶ Baraka, B.L., Orović, J., (2004), "Analiza uštede goriva broskog porivnog motora", *Pomorskizbornik*; 41 (1): 111.



- [3] Campana, E.F. et al., (2009), "New global optimization methods for ship design problems", *Optimization and Engineering*; 10 (4): 533-555.
- [4] Ivče, R., Jugović, A., Kos, S., (2009), "Određivanje troškova broda u plovidbi poradi uspješnosti izvođenja optimizacije brodskoga kapaciteta", *Naše more*; 56 (1-2): 10-15.
- [5] Jang, S. H., Choi, J. H., (2016), "Comparison of fuel consumption and emission characteristics of various marine heavy fuel additives ", *Applied Energy*; 179: 36-44.
- [6] Knežić, D., Savić, V., (2006), "Mathematical modeling of changing of dynamic viscosity, as a function of temperature and pressure, of mineral oils for hydraulic systems", *Mechanical Engineering*; 4 (1):27 – 34.
- [7] Saeed, S., Aboul-Fotouh, T.M., Ashour, I., (2016), "A current viscosity of different Egyptian crude oils: measurements and modeling over a certain range of temperature and pressure", *Pet Coal*; 58 (6): 611-621.
- [8] Stanivuk, T. et al., (2013), "Troškoviprijevoza LNG-a morskimpravicima", *Suvremenipromet; časopiszapitanjateorije i prakseprometa*; 33 (1-2): 30-33.
- [9] Tireli, E., (2005), *Goriva i njihovaprimjenanabrodu*, Rijeka: Pomorskifakultet.
- [10] Vetma, V. et al., (2012), "Optimiziranje brodskogvijka s konstantnimusponom", *Scientific Journal of Maritime Research*; 26 (2): 375-396.

INTERNET IZVORI

- [1] MARPOL annex VI, propis 14
([http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93Regulation-14.aspx)) (25. veljače 2017.)
- [2] <http://shipandbunker.com/prices> (25. veljače 2017.)