

# IZBOR PORIVNOG STROJA I TOČKE OPTIMALIZACIJE

UDK 621.436:658.589

Izvorni znanstveni rad  
*Original scientific paper*

## Sažetak

U radu je opisana metoda izbora porivnog stroja i točke njegove optimalizacije. Sastoji se od dinamičke analize i simulacije poslovanja broda te uvjeta rada motora. Najbolji financijski rezultat, izražen internom stopom povrata, kriterij je u izboru.

## 1. UVODNA RAZMATRANJA

Kupnja broda, poput bilo kojega drugog investicijskog projekta, treba donijeti prihvatljiv povrat uložених sredstava, dovoljan bar da se pokrije trošak tih sredstava, odnosno trošak duga i trošak trajnog kapitala.

"U teoriji, trošak trajnog kapitala može se definirati kao minimalna stopa povrata što je poduzeće mora ostvariti na onom dijelu investicija koje se financiraju iz trajnog kapitala, a da bi tržišna vrijednost dionica ostala nepromijenjena."<sup>1</sup> Trošak kapitala ovisi o srednjem povratu na dionice na tržištu kapitala, te o djelatnosti kojom se poduzeće bavi.

U određenom trenutku na tržištu vrijednosnih papira karakteristična je neka srednja stopa povrata na uložena sredstva, odnosno stopa koja bi se dobila ulaganjem u diverzificirani portfolio vrijednosnih papira. Kolika je i kolika će biti ta stopa, može se znati na osnovi raznih indeksa specijaliziranih tvrtki koje se bave tim analizama i prognozama (npr. Standard & Poor indeks).

Ta srednja stopa mijenja se u vremenu ovisno o stanju na cjelokupnom tržištu. Ovisno o djelatnosti kojom se bavi pojedino poduzeće, njegova stopa povrata reagira manje ili više na te promjene.

Trošak trajnog kapitala poduzeća koje u višoj mjeri reagira na stanje na tržištu je veći. Kako neko poduzeće

reagira na cjelokupno stanje na tržištu, može se prikazati koeficijentom  $\beta$ .

Trošak duga ovisit će, pak, o visini i uvjetima plaćanja dobivenih kredita.

Da bi se mogla ocijeniti neka investicija, tj. izračunati stopa povrata financijskih sredstava, potrebna je prognoza financijskih tijekova, odnosno svih novčanih izdataka i primitaka vezanih za investiciju. Pritom se ne uzimaju u obzir svi knjigovodstveni troškovi broda, kao npr. amortizacija ili knjigovodstveni udio broda u zajedničkim troškovima (troškovi kopnenih služba), već se metodama interne stope povrata (IRR) i sadašnje neto vrijednosti (NPV) izračunava povrat investicije.<sup>2</sup> Pritome NPV daje apsolutnu vrijednost koju projekt donosi (novčani iznos), a dobiva se tako da se financijski tijekovi diskontiraju nekom prihvatljivom diskontnom stopom na razini početne godine.

IRR daje relativnu (postotnu) vrijednost koju je lakše uspoređivati s relevantnim stopama na tržištu kapitala i vrijednosnih papira. Zbog toga će se dalje upotrebljavati metoda interne stope povrata.

Tema ovog rada nije detaljna analiza tržišta broskog prostora i svjetskog tržišta novca, te odgovarajuće sugestije glede izbora broskog tipa i trenutka njegove kupnje, nego izbor porivnog stroja i točke u kojoj će se izabrani motor optimalizirati. Zato se u daljnjem radu neće tražiti kolika je prihvatljiva stopa povrata uložених sredstava (IRR), već će različiti financijski rezultati (interne stope povrata) koje će dati pojedini porivni strojevi, odnosno isti porivni stroj pri različitim točkama optimalizacije, biti osnova za donošenje odgovarajuće odluke glede izbora stroja i njegove točke optimalizacije.

## 2. Komercijalna brzina

Promjena prihoda i troškova rezultat je promjene intenziteta iskorištavanja, odnosno najčešće promjene broja proizvedених proizvoda. Zbog toga se, gdje je to

\* Marinko Benić, dipl. inž. pomorskog prometa (diplomirao na Pomorskom fakultetu - Dubrovnik, 21. 10. 1994.); udio u radu 80%

\*\* Prof. dr. Josip Lovrić, redoviti profesor na Pomorskom fakultetu - Dubrovnik, mentor; udio u radu 20%

moгуće, prihodi i rashodi, a time i profit, prikazuje kao funkcija količine proizvedenih proizvoda.

$$Pf_D(Q) = UP_D(Q) - UT_D(Q) \quad (1)$$

$Pf_D$  - dnevni profit

$UP_D$  - ukupni dnevni prihod

$UT_D$  - ukupni dnevni troškovi

$Q$  - količina proizvodnje

S obzirom na to da je proizvod brodarske firme usluga (prijevoz tereta), izraz (1) potrebno je prilagoditi i učinak ( $Q$ ) izraziti kao sumu prevezenih tonskih milja<sup>3</sup> ( $\sum tNm$ ) tereta.

Budući da količina tereta koju brod može prevesti u jednom putovanju, jest ograničena, a logična je pretpostavka da brod neće ploviti poluprazan, jedini način na koji se može utjecati na prihode i rashode je promjena dužine putovanja, odnosno brzine broda:

$$Pf_D = f(v) = UP_D(v) - UT_D(v) \quad (2)$$

$v$  - brzina broda

Iz toga proizlazi da je komercijalna brzina<sup>4</sup> brodu ona brzina koja donosi najviši dnevni profit, odnosno razliku između dnevnih prihoda i rashoda. Ona se dobiva deriviranjem izraza (2), i izjednačivanjem s ničicom:

$$\frac{dPf_D}{dv} = \frac{dUP_D(v) - dUT_D(v)}{dv} = 0 \quad (3)$$

### 3. Prihodi

Ukupni dnevni prihod broda može se odrediti na osnovi visine vozarine, smanjene za neposredne troškove (provizije agentima i posrednicima i sl.), te vremena potrebnoga za jedno putovanje.

$$UP_D = \frac{FR}{D} - \frac{\quad}{24 \cdot v} + s \quad (4)$$

$FR$  - vozarina po odbitku neposrednih troškova

$D$  - dužina relacije u miljama

$v$  - brzina broda u čvorovima

$s$  - broj dana u lukama (konstanta neovisna o izboru porivnog stroja)

$\frac{D}{24 \cdot v}$  - broj dana u plovidbi

$24 \cdot v$

Na tržištu brodskog prostora izmjenjuju se razdoblja konjunktura i depresije, i visina se vozarine znatno

mijenja u relativno kratkim razdobljima. Iz izraza (3) vidi se da komercijalna brzina ovisi o visini prihoda, odnosno visini vozarine. To znači da pri izboru porivnog stroja i točke optimalizacije treba analizirati rad stroja (specifičnu potrošnju goriva i mogućnost vožnje komercijalnom brzinom, odnosno "elastičnost"<sup>5</sup>) pri različitim visinama vozarina i dodatnih otpora. Prijeko je potrebna dakle neka prognostička krivulja koja će uzimati u obzir te oscilacije vozarinskih stavova.

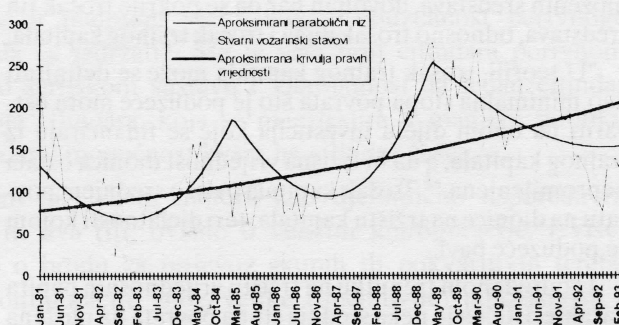
Zato je učinjena analiza trenda vozarinskih stavova na osnovi teorije paraboličnog niza<sup>6</sup> za razdoblje od 12 godina po mjesečnim podacima za brodove za rasute terete veće od 85 000 dwt. Za krivulju prave vrijednosti<sup>7</sup> izabrana je eksponencijalna krivulja pa je dobiven izraz iz kojeg se vidi da je aproksimirana godišnja stopa rasta vozarinskih stavova 8,36%.

$$y = 77,5 \cdot (1,0836)^x \quad (5)$$

$y$  - visina vozarinskog stava

$x$  - vrijeme u godinama

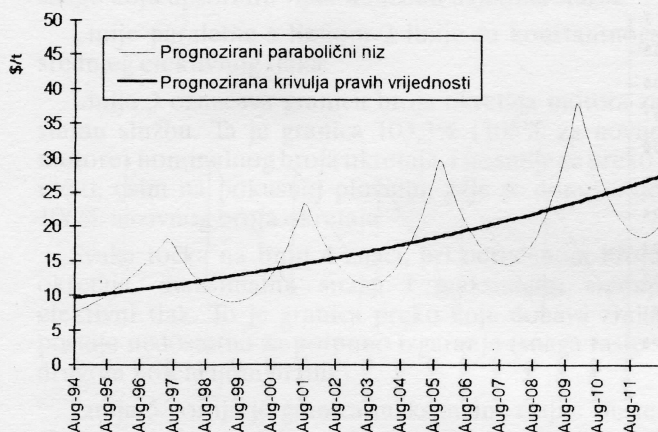
Daljnja aproksimacija dala je parabolični niz prikazan na slici (1):



Slika 1. Vozarinski stavovi od siječnja '81. do ožujka '93.; aproksimirana krivulja prave vrijednosti i aproksimirani parabolični niz

To omogućuje prognozu raspodjele vozarinskih stavova oko srednje vrijednosti. Pretpostavka je rast srednje vrijednosti ili prave vrijednosti vozarinskog stava eksponencijalno s nekom očekivanom stopom (npr. 6%), koja može biti jednaka inflaciji (deprecijaciji USD), ali također može biti i manja ili veća od inflacije, što označava pad ili rast realnih vozarinskih stavova. Mogu se pretpostaviti i neke promjene te stope nakon određenog vremena.

Na slici (2) dana je prognoza daljnjeg rasta vozarinskih stavova do 2010. godine.



Slika 2. Prognoza vozarinskih stavova do 2010. godine

#### 4. Troškovi

Troškovi u ekonomiji općenito se dijele na fiksne i varijabilne. Fiksni troškovi su oni koji se ne mijenjaju bez obzira na intenzitet iskorištavanja sredstava za rad za razliku od varijabilnih troškova, koji se mijenjaju s intenzitetom iskorištavanja.

U brodarstvu se obično troškovi goriva i komercijalni troškovi smatraju varijabilnim troškovima, a svi ostali fiksnima. Ta podjela nije u potpunosti točna jer neki od fiksnih troškova ipak ovise o intenzitetu iskorištavanja. Ipak, pri traženju komercijalne brzine ta podjela zadovoljava.

U jednadžbi profita fiksni su troškovi konstantni, a varijabilni su, poput prihoda, u funkciji brzine broda:

$$UT_D = UTF_D + UTV_D(v) \quad (6)$$

U određenom vremenskom razdoblju ni fiksni troškovi ipak nemaju konstantnu nominalnu cijenu zbog utjecaja inflacije i promjene njihove realne vrijednosti, bez obzira na to je li količina utroška fiksna ili varijabilna. Inflacija je faktor koji se u dugoročnim investicijama ne smije izuzeti iz proračuna, kako za procjenu vozarina tako i za procjenu troškova, odnosno negativnih finansijskih tijekova.

$$CT = CT_0 \cdot s^x \quad (7)$$

CT - cijena koštanja jedne jedinice utroška u određenom trenutku

CT<sub>0</sub> - trenutna cijena koštanja jedne jedinice s - godišnja stopa rasta

Taj izraz može se upotrijebiti i za fiksne i za varijabilne troškove jer u sebi ne sadrži broj jedinica utroška. Da bi se dobila visina odgovarajućeg troška, mora se izraz pomnožiti odgovarajućim brojem jedinica utroška

koji može, ali i ne mora biti u ovisnosti s intenzitetom iskorištavanja, odnosno može biti varijabilan ili fiksni.

Troškovi goriva najvažnija su stavka u strukturi troškova, i na njima se ujedno mogu ostvariti najveće uštede. U prošlosti je zbog porasta cijene goriva dotjerivanje oblika broskog oblika trupa i vijka, i smanjenje broja okretaja korištenjem sporohodnih dizelskih motora, dovelo do znatnih redukcija u potrošnji goriva. Također se nastoje smanjiti ti troškovi upotrebom goriva slabije kvalitete i niže cijene.

Upravo zbog visokih troškova za gorivo neke alternativne vrste poriva dizelskom sporohodnom motoru (parna turbina, plinska turbina, parni stroj) izgubile su na važnosti kad su u pitanju brodovi za rasuti teret. Glavna prednost parne turbine - velika snaga u odnosu prema dimenzijama - nije bitna za te brodove jer su njihove brzine plovidbe relativno niske za razliku od brzih linijskih kontejnerskih brodova.

Razlog tim, čak i dva puta većim brzinama u brzih linijskih brodova, leži u mnogo većoj vrijednosti tereta koji brod prevozi. Budući da čitavo vrijeme dok je roba u plovidbi, ona znači "vezani" kapital za njezina vlasnika, nastaje oportunitetni trošak (nemogućnost da se kapital obrće). Veća vrijednost tereta podrazumijeva ujedno da je taj trošak veći, i potiče vlasnika vrjednijeg tereta da plaća više za kraće putovanje. Posljedica je rast vozarina linijskim brodovima i njihove brzine. Taj utjecaj na vozarine za brodove za rasute terete je puno manji. Harry Benford proučava utjecaj tih troškova (troškovi zaliha ili "inventory costs") na projektiranje brodova i terminala za rasuti teret.<sup>8</sup>

Utrošak goriva izravno je vezan uz razvijenu snagu porivnog stroja i zapravo je umnožak trenutne snage i specifičnog potroška goriva za tu snagu:

$$Q = 24 \cdot 10^{-6} \cdot P_B \cdot SFOC \quad (8)$$

SFOC - specifična potrošnja goriva<sup>9</sup> u g/Kwh

P<sub>B</sub> - snaga stroja u kW

Q - dnevna potrošnja teškoga goriva u tonama

Snaga porivnog stroja raste približno s trećom potencijom brodske brzine. Korištenjem admiraltetske konstante — izraz (9), problem se pojednostavljuje jer je snaga porivnog stroja u admiraltetskoj formuli proporcionalna trećoj potencijom brzini broda.

$$P_B = \frac{\Delta^{2/3} \cdot v^3}{C_E} \quad (9)$$

C<sub>E</sub> - admiraltetska konstanta

Δ - istisnina broda

v - brzina broda u čv

P<sub>B</sub> - snaga stroja kW

Za kompleksnije proračune preporučuje se uporaba konstante © koja prikazuje promjenu efektivne snage poriva (za razliku od admiraltetske konstante kad je u pitanju kočena snaga motora) u odnosu na treću potenciju brzine i dvotrećinsku potenciju istisnine.

Promjena snage ujedno utječe na promjenu specifične potrošnje goriva (g/kWh), odnosno SFOC = f(P<sub>B</sub>).

Ta karakteristika potrošnje ovisi o točki optimalizacije motora.

Ukupni dnevni troškovi dani su sljedećim izrazom:

$$UT_D = \frac{\frac{D}{24v} \cdot 24 \cdot 10^{-6} \cdot SFOC \cdot p_g \cdot v^3 \cdot c' \cdot T_s}{\frac{D}{24v} + s} + \frac{D}{24v} + s + UT_{FD} \quad (10)$$

$p_g$  - cijena tone teškog goriva

$$c' = \frac{C_E}{\Delta^{2/3}}$$

$s$  - broj dana u stajanju

$T_s$  - troškovi stajanja (varijabilni troškovi - ovisi o broju putovanja)

Uvrštavanjem izraza (10) i (4) u izraz (3) može se izračunati komercijalna brzina.

## 5. Dodatni otpori

Kočena snaga porivnog stroja raste ne samo s povećanjem brzine broda nego i s porastom eksploatacijske hrapavosti podvodnog dijela brodskog trupa i dodatnih otpora zbog valova i vjetra.

Povećanje eksploatacijske hrapavosti ovisi o vrsti i kvaliteti prevlake, vremenu proteklomu od zadnjeg dokovanja, broju dana u luci, području plovidbe broda, te dužini vodene brodske linije, i njihova prognoza može se izračunati odgovarajućim metodama.<sup>10</sup>

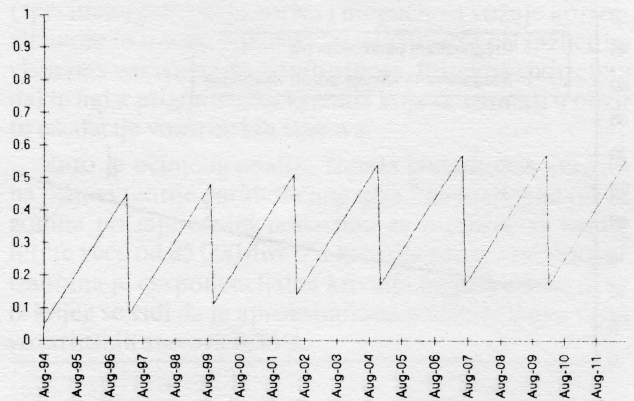
Dodatni otpori zbog vjetra i valova ovisi o području plovidbe broda (za brod Argosy pretpostavljena relacija je Gulf - ARA). Na osnovi stanja mora za pojedina područja (prema statističkim podacima) može se izračunati koliko će vremena brod ploviti u određenim stanjima mora.<sup>11</sup>

Proračunavaju se posebno svi smjerovi vjetra u odnosu na trup, osim za more u krmu (pretpostavka je da u tom slučaju nema smanjenja ni povećanja ukupnih otpora). Treba naglasiti da se ne bi smjelo računati s prosjekom otpora mora na određenoj relaciji, nego se za svako stanje mora (u kojem će brod ploviti određeno vrijeme) posebno računa povećanje potrebne snage.

Ovisno o visini dodatnih otpora mijenja se admiralićka konstanta (ili konstanta ©) u izrazu (10), što ujedno utječe na visinu maksimalnog dnevnog profita i brodske komercijalne brzine.

Za potrebe proračuna ukupni dodatni otpori su pojednostavljeni (slika 3.).

U ovom primjeru pretpostavka je da se koristi konvencionalnim prevlakama, što znači da su dodatni otpori u prosjeku dosta veliki, a ujedno će i plovidbena pričuva (*sea margin*) biti veća nego u uporabi samozagladivih prevlaka.

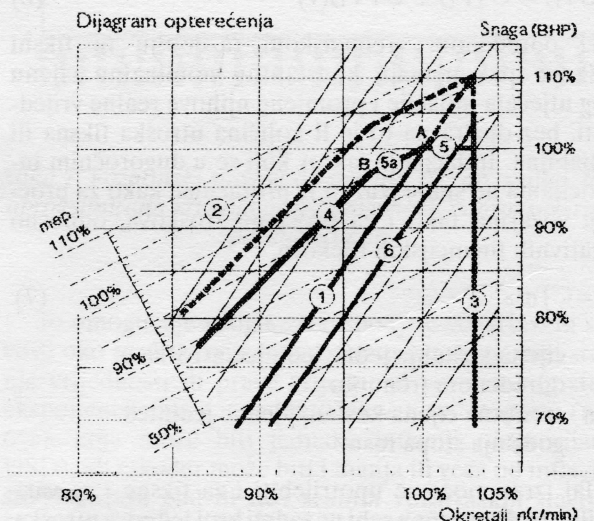


Slika 3. Prognoza koeficijenta dodatnih otpora do 2012. godine

## 6. Dijagram opterećenja porivnog motora

Ovaj dijagram (slika 4.) služi da se utvrde granice opterećenja za trajni rad instaliranog motora s određenim vijkom. On prikazuje snagu (kW), broj okretaja (o/min) i srednji efektivni tlak (mep) u logaritamskoj ljestvici.

Točka sa 100% snage i 100% broja okretaja jest MCR točka motora (maksimalna trajna snaga i broj okretaja). Dijagram sadrži nekoliko linija, kojih objašnjenje slijeđi.



Slika 4. Dijagram opterećenja porivnog motora<sup>12</sup>

Linija 1 je krivulja vijka kroz točku A (MCR točka). Ta linija označava opterećenja motora na pokusnom stolu. Linije paralelne s linijom 1 krivulje su vijka za snagu koju apsorbira vijak u raznim uvjetima službe.

Linije paralelne s linijom 2 linije su konstantnoga srednjeg efektivnog tlaka.

Linija 3 označava granicu broja okretaja motora za stalnu službu. Ta je granica 103,3% (105% za novije motore) nominalnog broja okretaja, i ne smije se prekoračiti, osim na pokusnoj plovidbi, gdje se dopušta do 106% nazivnog broja okretaja.

Svaka točka na liniji 4 znači, pri određenom broju okretaja, maksimalnu snagu i maksimalni srednji efektivni tlak. To je granica preko koje dobava zraka postaje nedostatna za potpuno izgaranje (snaga raste s drugom potencijom brzine).

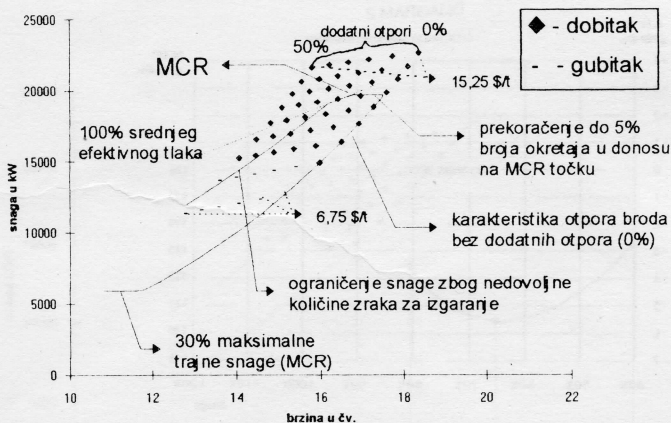
Linija 5 gornja je granica maksimalne trajne snage. Gornja granica srednjega efektivnog tlaka za stalan rad označena je linijom 5a, i znači 100%-tni srednji efektivni tlak u odnosu prema MCR. To ograničenje djeluje u rasponu od 100 do 96,7% maksimalnog broja okretaja.

Motore MAN B&W serije MC mogu zadovoljavajuće konstantno raditi na teško gorivo sve do 30% MCR, bez poduzimanja nekih posebnih mjera radi smanjenja opterećenja. To pokazuje da je "elastičnost" motoru vrlo velika.

## 7. Porivni četverokut

Varijanjem visine vozarine i visine dodatnih otpora, te računanjem odgovarajućih komercijalnih brzina, dobiva se "porivni četverokut"<sup>13</sup> (slika 5.).

U ovom slučaju vozarinski stavovi su u rasponu od 6,75 do 15,25 \$/t, a dodatni otpori od 0 do 50%. Dijagram opterećenja definiran je odgovarajućim ograničenjima snage i broja okretaja u skladu s dijagramom



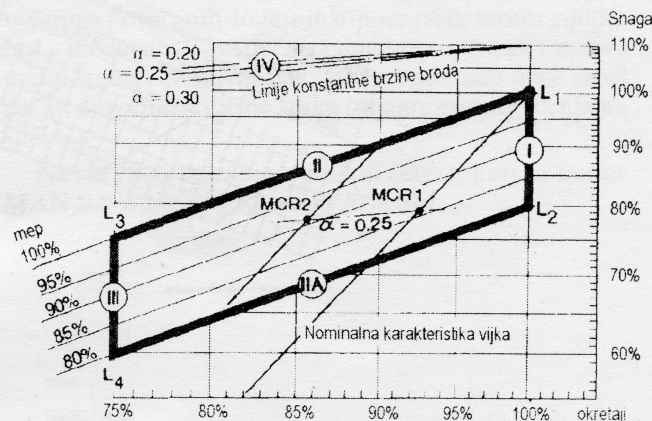
Slika 5. Porivni četverokut s ucrtanim dijagramom opterećenja za motor MAN B&W 5K90MC optimiziranim pri 17820 kW i 83 o/min. Maksimalna trajna snaga motora je 21600 kW pri 86 o/min, što odgovara karakteristici vijka broda Argosy s 15% plovidbene pričuve.

na slici 4. (prikazanim u logaritamskoj ljetstivici za razliku od njega). Promjenom snage ujedno se mijenja i specifični potrošak goriva (SFOC) motoru i on ovisi o točki u kojoj je motor optimaliziran.

## 8. Krivulja specifične potrošnje goriva (SFOC)

Za računanje maksimalne trajne snage motoru i krivulje specifične potrošnje goriva, potrebna je karakteristika vijka, koja se dobiva ispitivanjem brodskog modela, te dijagram mogućnosti porivnog motora (*layout diagram*).

Dijagram mogućnosti dijagram je snage i broja okretaja porivnog dizelskog motora (na slici 6. prikazanih u logaritamskoj ljetstivici. U njemu se nalazi površina unutar koje se može izabrati bilo koja točka što će označavati maksimalnu trajnu snagu (MCR) i broj okretaja, te točka u kojoj će se optimalizirati motor. Te se točke izabiru na prognoziranoj karakteristici brodskog vijka s uračunatom određenom visinom dodatnih otpora (*plovidbena pričuva*).



Točka L1 predočava nominalnu maksimalnu trajnu snagu (maksimalni broj okretaja i maksimalni srednji efektivni tlak motora) za koju je motor određen, odnosno najveći mogući MCR koji se može izabrati. Iz kataloga se pronalazi vrijednost nominalne snage i broja okretaja za neki motor, i na osnovi toga vrijednosti za ostale točke (L2, L3, L4). Kroz nju prolaze linije 100%-tnoga nominalnog srednjeg efektivnog tlaka (linija II) i 100% nominalnog broja okretaja (linija I). Točka L2 je na 80% nominalnog srednjeg efektivnog tlaka (64% za najnovije motore MAN B&W) i 100% nominalnog broja okretaja, točka L3 na 100% srednjeg efektivnog tlaka (mep) i 75%

nominalnog broja okretaja, te točka L4 na 80% (64%) mep i 75% broja okretaja.

Odnos snage i broja okretaja motora ovisit će o vijku i otporu, i on je definiran karakteristikom vijka. MAN B&W preporučuje izraz:

$$P_B = C \cdot n^3 \quad (11)$$

C - konstanta

n - broj okretaja

Kočena snaga motora u tom izrazu raste s trećom potencijom broja okretaja, dok u admiralitetskoj formuli brzina broda raste s trećom potencijom snage. To implicira da je broj okretaja motoru proporcionalan brodskoj brzini, što nije točno zbog promjene skliza vijka pri promjeni brzine. Ipak, u malom rasponu broja okretaja ta je pretpostavka prihvatljiva.

Potrebno je naći optimalni promjer vijka jer ekonomičnost propulzije ovisi i o učinkovitosti vijka i o specifičnom potrošku goriva, koji raste s porastom srednjeg efektivnog tlaka. Za postizanje određene brodske brzine veći vijak znači manji broj okretaja, ali i veći zakretni moment, što znači da će tlakovi plinova u motoru biti veći, a time i specifični potrošak goriva. Drugim

riječima, određeni će motor imati manju specifičnu potrošnju goriva s manjim vijkom.

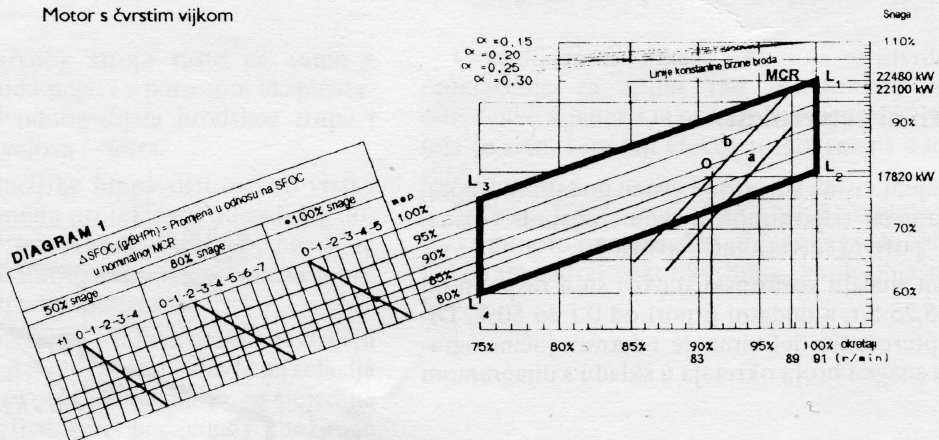
S druge strane, učinkovitost vijka raste s njegovim promjerom. Smanjenje potrebne snage da bi brod plovio određenom brzinom veće je nego što je odgovarajuće povećanje specifičnog potroška goriva, pa se zato optimalna radna točka najčešće pronalazi u točki koja odgovara karakteristikij najvećeg mogućeg vijka koji se može postaviti na brod.<sup>15</sup>

Osim izbora maksimalne trajne snage motora (MCR) potrebno je naći i točku (O) u kojoj je najbolje izabrani motor optimalizirati za najmanju specifičnu potrošnju goriva. Mijenjanje vozarina na tržištu broskog prostora i mijenjanje dodatnih otpora zahtijeva promjene brodske brzine, što znači da brod najveći dio svog životnog vijeka neće ploviti maksimalnom trajnom snagom. Stoga je logično da će točka optimalizacije motora (O) na karakteristikij vijka biti niža od izabrane MCR točke.

Razlika vrijednosti snage između točke optimalizacije i točke maksimalne trajne snage, izražena u postocima, poznata je kao operativna pričuva (*operational margin*).

Maksimalna trajna snaga određenom motoru treba biti što veća jer će u pojedinim trenucima iskorištavanja

Motor s čvrstim vijkom



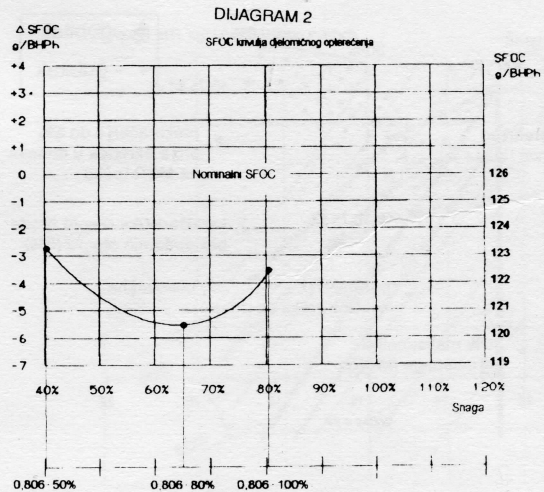
• 100% snage = optimiziran motor

SFOC: g/BHP-h	MC	MCE
	1.30	1.26

$$q/kWh = \frac{g/BHP-h}{0.7355}$$

TIP MOTORA:	
PODACI U NOMINALNOJ MCR	BHP
100% SNAGE:	r/min
NOMINALNA SFOC:	g/BHP-h

PODACI U SPECIFICIRANOJ MCR	
100% SNAGE:	BHP
100% OKRETAJA:	r/min
SFOC:	g/BHP-h



Slika 7. Određivanje specifične potrošnje goriva za motor MAN B&W 8S70MC

broda to donijeti veću dobit, a i zato što ne zahtijeva veće investicijske izdatke (cijena je motoru ista bez obzira na izabrani MCR). Zato je potrebno da maksimalna trajna snaga bude najveća moguća na karakteristici vijka i u granicama maksimalnog broja okretaja i maksimalnog srednjeg efektivnog tlaka.

Slika 7. ilustrira kako se pronalazi karakteristika potrošnje goriva za motor MAN B&W 8S70MC s pomoću dijagrama mogućnosti motora za karakteristiku vijka broda Argosy s 15% dodatnih otpora (plovidbene pričuve) i za točku optimalizacije pri 17 820 kW (točka O). Maksimalna trajna snaga je 22100 kW pri 89 o/min.

Pravac paralelan s linijom II povučen je kroz točku optimalizacije motora (O) i kroz dijagram 1. Sijekući linije dijagrama 1 on označava specifičnu potrošnju goriva pri 50, 80 i 100% snage točke optimalizacije (17 820 kW).

Interpolacijom kvadratne krivulje između te tri točke dobiva se karakteristika potrošnje goriva u odnosu prema snazi (dijagram 2.).

Pri točki optimalizacije 17 820 kW i 83 o/min (15% plovidbene pričuve) specifična potrošnja goriva za 4 motora je sljedeća:

#### MAN B&W 8S70MC

$$\text{SFOC} = 195,0 - 0,00454732 P_B + 1,655536 \cdot 10^{-7} P_B^2$$

#### MAN B&W 7L80MC

$$\text{SFOC} = 195,6 - 0,00459596 P_B + 1,669016 \cdot 10^{-7} P_B^2$$

#### MAN B&W 6L80MC

$$\text{SFOC} = 194,3 - 0,00385522 P_B + 1,438083 \cdot 10^{-7} P_B^2$$

#### MAN B&W 5K90MC

$$\text{SFOC} = 194,9 - 0,00426487 P_B + 1,574532 \cdot 10^{-7} P_B^2 \quad (12)$$

## 9. Plovidbena pričuva

Točka maksimalne trajne snage i broja okretaja (MCR te točka optimalizacije porivnog motora pronalaze se na prognoziranoj karakteristici vijka (koja se dobiva ispitivanjem broskog modela) kojoj se dodaje određeni postotak plovidbene pričuve, odnosno *sea margina* (povećanje snage zbog dodatnog otpora).

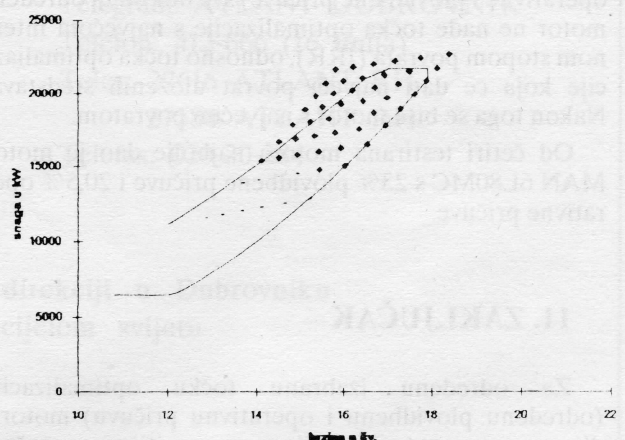
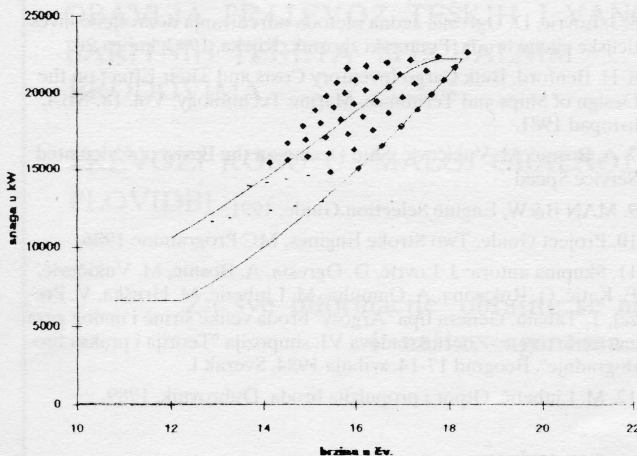
Na slici 7. prikazana je karakteristika vijka bez plovidbene pričuve (a) i karakteristika vijka s 15% plovidbene pričuve. MCR je izabran kao najveći mogući na karakteristici vijka (b). Time je izabrana najveća moguća operativna pričuva (*operational margin*) za taj motor. U tom slučaju riječ je o dosta snažnom motoru koji jako dobro pokriva porivni četverokut, ali zbog visoke cijene motora ne daje dobre ukupne financijske rezultate broda (IRR), i njegov izbor u ovom slučaju nije prihvatljiv.

MAN B&W preporučuje da se veličina plovidbene pričuve (SM) nađe kao srednja vrijednost dodatnih otpora u toku broskog vijeka. Za brod s konvencionalnim prevlakama to bi značilo više od 25% SM, što u praksi nije uobičajeno. Za brodove za rasuti teret najčešće se izabire oko 15% SM.

Povećanje plovidbene pričuve znači pomicanje krivulje (b) ulijevo, a to znači da će maksimalno MCR koje se može izabrati biti manje nego kod manje plovidbene pričuve. To ujedno znači i manju maksimalnu brzinu broda (pri malim dodatnim otporima).

S druge strane, smanjenjem plovidbene pričuve povećati će se MCR motoru, ali u tijeku eksploatacije u uvjetima povećanih dodatnih otpora taj će motor rijetko biti u mogućnosti postići maksimalnu snagu, ali i maksimalni srednji efektivni tlak, jer turbopuhalo neće moći davati dovoljne količine zraka (dijagram opterećenja na slici 6.).

Na slici 8. prikazani su porivni četverokuti za motor MAN B&W 8S70MC pri 10 i 20% SM.



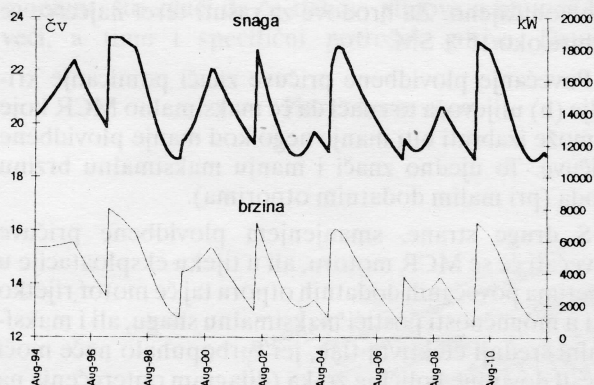
Slika 8. Porivni četverokut i dijagrami opterećenja za motor 8S70MC pri 10 i 20% SM

Osim visine plovdbene pričuve bitna je i točka optimalizacije motora u dijagramu mogućnosti porivnog motora jer ona određuje karakteristiku potrošnje goriva.

## 10. Izbor stroja i točke optimalizacije

Daljnji postupak sadrži simulaciju životnog broskog vijeka pri različitim visinama plovdbene pričuve i pri različitim točkama optimalizacije stroja. Računanje komercijalnih brodskih brzina, te negativnih (plaćanja) i pozitivnih (vozarina) financijskih tijekova omogućuje da se nađe interna stopa povrata (IRR) investicije.

Slika 9. prikazuje kretanje brzine i kočene snage za motor MAN B&W 8S70MC (pri 15% SM) razdoblju od 18 godina. Usporedba s dodatnim otporima (slika 3.) i vozarinskim stavovima (slika 2.) objašnjava izgled tih dijagrama. Posebno je velik utjecaj dodatnih otpora.



Slika 9. Komercijalne brodске brzine i odgovarajuće snage motora u tijeku broskog životnog vijeka

Ovaj se postupak ponavlja (s različitim visinama operativne i plovdbene pričuve) sve dok se za određeni motor ne nađe točka optimalizacije s najvećom internom stopom povrata (IRR), odnosno točka optimalizacije koja će dati najveći povrat uloženi sredstava. Nakon toga se bira motor s najvećim povratom.

Od četiri testirana motora najbolje dao je motor MAN 6L80MC s 23% plovdbene pričuve i 20,5% operativne pričuve.

## 11. ZAKLJUČAK

Za određenu izabranu točku optimalizacije (određenu plovdbenu i operativnu pričuvenu) motora, dijagram opterećenja i dijagram specifične potrošnje goriva daju karakteristike ponašanja motora u eksploataciji. Visina povrata uloženi sredstava ovisit će o uvjetima eksploatacije i o ponašanju motora u tim

uvjetima. Zbog variranja tih uvjeta (vozarina i dodatnih otpora) potrebna je cjelokupna simulacija broskog životnog vijeka, a ne uporaba prosječnih veličina.

U gradnji broda uobičajen je izbor oko 15% plovdbene i oko 10% operativne pričuve. Te se veličine najčešće uzimaju po osjećaju, a ne na temelju detaljnih proračuna i analiza.

S druge strane, MAN B&W predlaže da veličina plovdbene pričuve odgovara veličini prosječnih dodatnih otpora u tijeku eksploatacije. U primjeru je pretpostavljena uporaba konvencionalnih prevlaka za zaštitu od obraštanja, održavanje broskog podvodnog dijela samo na suhomu, što onda rezultira prosječnim dodatnim otporima od 33%.

Izbor plovdbene pričuve i od 15% i od 33% dao je lošije financijske rezultate u odnosu prema proračunom dobivenim 23% plovdbene pričuve.

S obzirom na to da će stroj, u skladu s navedenim prognozama, uglavnom raditi pri manjim snagama od maksimalne trajne snage, najbolje je rezultate dala optimalizacija stroja s 20,5% operativne pričuve, odnosno točka optimalizacije stroja na karakteristici otpora s 23% SM i s 20,5% manje snage u odnosu prema maksimalnoj trajnoj snazi.

Ipak, rezultat se ne može generalizirati. Za drugi brodski tip, ili drugi motor, za druge uvjete eksploatacije, ili u slučaju samozagladivih prevlaka, mijenja se veličina plovdbene i operativne pričuve.

Može se reći da ova metoda pruža sveobuhvatni pristup odabiru porivnog stroja i njegove točke optimalizacije, ostavljajući ga otvorenim za daljnju nadogradnju, tj. kompleksnije proračune i prognoze.

## LITERATURA:

1. J.C. Horne, Financijsko upravljanje i politika (Financijski menedžment), MATE Zagreb, 1993.
2. I. Rubinić, Ekonomika brodarstva, Rijeka, 1976.
3. J. Lovrić, Osnove brodske terotehnologije, Dubrovnik, 1989.
4. Lovrić, Zbornik XI. simpozija Teorija i praksa brodogradnje, Dubrovnik, 19-21.V.1994. Svezak I, str. 47-59., Pristup izboru porivnog motora u cilju optimalizacije iskorišćavanja trgovačkog teretnog broda
5. J. Lovrić, D. Ogresta, Jedna metoda određivanja dozvoljene investicijske cijene broda, Pomorski zbornik, Rijeka, 1982, knjiga 20.
6. H. Benford, Bulk Cargo Inventory Costs and Their Effect on the Design of Ships and Terminals, Marine Technology, Vol. 18, No.4, listopad 1981.
7. A. Bosnić, M. Vukičević, Ship Desing on the Basis of Calculated Service Speed
9. MAN B&W, Engine Selection Guide, 1991.
10. Project Guide, Two Stroke Engines, MC Programme 1986.
11. Skupina autora: J. Lovrić, D. Ogresta, A. Bosnić, M. Vukičević, E. Katić, G. Rukavina, A. Gamulin, M. Ljubetić, M. Hruška, V. Prezel, T. Tabain, Geneza tipa "Argosy" broda velike širine i malog gaza za rasute terete, Zbornik radova VI. simpozija "Teorija i praksa brodogradnje", Beograd 17-14. svibnja 1984, Svezak I.
12. M. Ljubetić, Otpor i propulzija broda, Dubrovnik, 1989.

## BILJEŠKE

<sup>1</sup>J. C. Horne, Financijsko upravljanje i politika (Financijski menedžment), MATE Zagreb 1993. god., str. 243.



<sup>3</sup> I. Rubinić, Ekonomika brodarstva, Rijeka, 1976., str. 380.

<sup>4</sup> J. Lovrić: Osnove brodske terotehnologije, Dubrovnik, 1989., str. 8.

<sup>5</sup> J. Lovrić, Zbornik XI. simpozija Teorija i praksa brodogradnje, Dubrovnik, 19-21.V.1994., Svezak I, str. 47-59., Pristup izboru porivnog motora u cilju optimalizacije iskorištavanja trgovačkog broda

<sup>6</sup> J. Lovrić, D. Ograsta, Jedna metoda određivanja dozvoljene investicijske cijene broda, Pomorski zbornik, Rijeka, 1982, knjiga 20, str. 147-162.

<sup>7</sup> Ibid.

<sup>8</sup> H. Benford, Bulk Cargo Inventory Costs and Their Effect on the Design of Ships and Terminals, Marine Technology, Vol. 18, No.4, listopad 1981, str. 344/349.

<sup>9</sup> Specific fuel oil consumption

<sup>10</sup> A. Bosnić, M. Vukičević, Ship Design on the Basis of Calculated Service Speed

<sup>11</sup> Ibid.

<sup>12</sup> MAN B&W Engine Selection Guide, 1991.

<sup>13</sup> J. Lovrić, Zbornik XI. simpozija Teorija i praksa brodogradnje, Dubrovnik, 19-21.V.1994., Svezak I, str. 47-59., Pristup izboru porivnog motora u cilju optimalizacije iskorištavanja trgovačkog teretnog broda

<sup>14</sup> Ibid.

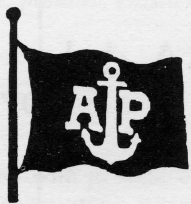
<sup>15</sup> Ibid.

### CHOICE OF THE MAIN MOTOR AND THE POINT OF OPTIMISATION

#### Summary

*The method of choice of the main engine and it's point of optimization has been described in this paper. It consists of dynamic analysis and simulation of the ship engine operation. The best financial result, expressed by internal rate of return, is the criteria of choice.*

Rukopis primljen: 2. 1. 1995.



# Atlantska plovidba d.d. DUBROVNIK

PREVOZI ROBU U SLOBODNOJ  
PLOVIDBI PO SVIM MORIMA SVIJETA.

OBAVLJA PRIJEVOZ TEŠKIH I VANGA-  
BARITNIH TERETA SPECIJALNIM  
BRODOVIMA.

PREVOZI ROBU U MALOJ OBALNOJ  
PLOVIDBI.

DIREKCIJA

DUBROVNIK, Od Svetog Mihajla 1  
Poštanski pretinac 192

Telegram: ATLANT DUBROVNIK

Telefon: 412-666 (16 linija)

Telex: 27616 ATLANT RH

27584 ATLANT RH

Telefax: 020-20-384

Za sve informacije obratite se našoj direkciji u Dubrovniku  
i našim agentima po cijelom svijetu