

Josip Orović, dipl.inž.
Dr.sc. Enco Tireli
Pomorski fakultet u Rijeci
Rijeka, Studentska 2

Izvorni znanstveni rad
UDK: 629.5.03
629.544
658.14/.17
Primljeno: 08. lipnja 2004.
Prihvaćeno: 03. srpnja 2004.

ANALIZA UPOTREBE ALTERNATIVNIH POGONA NA BRODOVIMA ZA PRIJEVOZ KONTEJNERA

U ovom radu analizira se ekonomska opravdanost razvoja alternativnih pogonskih sustava za kontejnerske brodove. Daje se analiza ekonomičnosti i pouzdanosti danas najprihvatljivijeg dizel-motornog pogona, u odnosu na alternativne pogonske sustave, plinskoturbinski mehanički pogon i plinskoturbinski-električni pogon. Cilj rada je procijeniti ekonomsku opravdanost razvoja alternativnih pogona za kontejnerske brodove odnosno da li će ovi pogoni dovesti do poboljšanja u isplativosti brodova ovoga tipa. Analiza pogona vrši se prema ovim parametrima: težini postrojenja u kg/kW, potrošnji goriva u kg/kWh, troškovima nabave u \$/kW, te troškovima goriva u \$/kW.

Ključne riječi: analiza, ekonomičnost, kontejnerski brod, pogonski sustavi, troškovi

1. UVOD

Veličina brodova za prijevoz kontejnera iz dana u dan raste jer brodovlasnici teže većoj ekonomskoj isplativosti. Veličina brodova ovisi o snazi glavnog pogonskog stroja, a današnji pogoni imaju snagu od 60 do 90 MW [1]. Kada bi postojali isplativiji pogoni jačih snaga, gradili bi se i veći brodovi. Težina pogonskih strojeva dosta je velika, ali to se uspjeva kompenzirati velikom iskoristivošću pogonskog goriva. Također, putovanja postaju sve duža, a to povećava potrebnu količinu goriva. Kako veća količina goriva smanjuje prostor za teret, tako se sve više pažnje poklanja iskoristivosti goriva. Proizvođači pogonskih strojeva svoja istraživanja temelje na poboljšanju stupnja djelovanja svojih proizvoda, ali i zaštiti okoliša.

U ovom radu analizirat će se ekonomičnost i pouzdanost danas najprihvatljivijeg dizel-motornog pogona, u odnosu na alternativne pogonske sustave, plinskoturbinski mehanički pogon i plinskoturbinski-električni pogon.

Dizelski motor, koji se koristi za pogon broda, je dvotaktni sporohodni motor, direktno spojen na propeler. Njegova trenutna dominacija na tržištu temelji se na dobroj iskoristivosti i pouzdanosti. Kako postoje zahtjevi za većim snagama, proizvođači dizelskih motora razvili su 13 i 14-cilindrične motore koji imaju snagu od 74 do 80 MW, što zadovoljava trenutne potrebe brodova za prijevoz kontejnera.

Plinske turbine, koje se koriste za pogon broda, razvijene su iz plinskih turbina koje se koriste na kopnu ili u zrakoplovstvu, a mogu biti mehanički ili aerodinamički spojene na propeler. Za razliku od dizelskog motora puno su lakše, s obzirom na snagu, te zauzimaju puno manje mjesta. S druge pak strane, plinske turbine koriste skuplje gorivo i imaju manji stupanj djelovanja od dizel motora.

Električni pogon se sastoji od generatora električne energije, koji su pogonjeni dizelskim motorom ili plinskom turbinom, i pogonskih električnih motora. Električni pogon omogućuje ravnomjernu raspodjelu opterećenja pogonskih motora kod svih režima brzine broda i proizvodi manje buke u odnosu na ostale pogone. Također je pogodan za tipove broda koji imaju veliku potrebu za električnom energijom. Nedostaci ovog pogona su u tome što se mehanička energija najprije pretvara u električnu enegiju, a onda opet u mehaničku za pogon propelera, kao i veća težina postrojenja u odnosu na ostale.

2. EKONOMSKA ANALIZA

Osnovni tip broda za prijevoz kontejnera, koji se koristi u ovoj ekonomskoj procjeni, ima karakteristike dobivene iz trendova gradnje kontejnerskih brodova, a to su:

• Nosivost	6000 TEU
• Brzina	25 čvora
• Maks. doseg broda	6000 NM (bez nadoljevanja goriva)
• Snaga	75 MW

Analiza primjene alternativnih pogonskih sustava na zamišljeni kontejnerski brod izvedena je pomoću ovih parametara:

• kg/kW	težina postrojenja
• g/kWh	potrošnja goriva
• \$/kW	troškovi nabave
• \$/kW	troškovi goriva

Ova metoda s parametrima, uspoređuje pogonska postrojenja na način da se vrijednosti linearnih parametara mogu jednako primijeniti pri različitim vrijednostima

snage postrojenja. Zapravo je to pojednostavljenje, jer se stvarna postrojenja ne mogu tretirati na taj način. Stvarna postrojenja su dostupna samo u određenim veličinama, tako da njihove težine, troškovi, itd., pokazuju značajne razlike prilikom prelaska s jednog modela na drugi. Unatoč tome, ovaj model je pogodan za izvedbu ispitivanja na sadašnjem nivou pojednostavljenja.

Sljedeća kritika ovoj metodi je da vrijednosti parametra nisu realistične. Kako bi se smanjila ta pogreška, u ovom se radu koriste vrijednosti parametra koje su preuzete iz objavljene literature specifične za određeni pogonski sustav. Također, cijene i troškovi koji se spominju u radu, možda ne odgovaraju trenutnim vrijednostima, jer se situacija na tržištu svakodnevno mijenja, ali nam daju osnovu za proračun, pomoću kojeg možemo doći do određenih podataka.

Na kraju, treba napomenuti da ne postoji parametar za troškove posade. Pretpostavlja se da su oni konstantni za sva postrojenja. Neka detaljnija ekonomska studija bi posebno identificirala troškove posade, ali ovdje se smatralo da oni nisu od velike važnosti. Ovdje se koristi vrlo jednostavan pristup, kako bi se odredilo da li doista postoji ekonomska opravdanost, tj. poticaj, koji može garantirati detaljniju procjenu jedne ili više promatranih opcija.

2.1. Težina postrojenja u kg/kW

Težina određenog pogonskog sustava procjenjuje se pomoću parametra kg/kW. Povećanje ili smanjenje težine u usporedbi s dizel mehaničkim pogonom tretira se kao promjena u nosivosti broda. To je pojednostavljena metoda jer se zanemaruje pitanje da li ima slobodnog prostora za dodatni teret, odnosno, da li bi brod trebalo preuređivati radi smanjene korisne nosivosti. Analizirana postrojenja imaju ove vrijednosti:

• Dizel-mehanički pogon	31.78	kg/kW [2, 3, 6]
• Plinskoturbinski-mehanički pogon	1.5-3.8	kg/kW [2, 3, 6]
• Plinskoturbinsko-električni pogon	14.5-16.8	kg/kW [2, 3, 6]

2.2. Potrošnja goriva u g/kWh

Potrebna količina goriva također utječe na nosivost broda. Brodu pogonjenom s osnovnim dizelskim motorom potrebno je 3000 tona goriva. Odstupanje potrošnje goriva ostalih pogona u odnosu na dizelski pogon dovodi do povećanja ili smanjenja nosivosti broda. Također, treba napomenuti da duljina putovanja određuje potrošnju goriva. U ovoj analizi uzeta je srednja vrijednost duljine putovanja od 6000 NM. Specifična potrošnja goriva određuje se pomoću parametra g/kWh i za pojedine pogone iznosi:

• Dizel-mehanički pogon	170	g/kWh [3]
• Plinskoturbinski-mehanički pogon	206-277	g/kWh [3, 4]
• Plinskoturbinsko-električni pogon	227-304	g/kWh [3]

2.3. Troškovi nabave postrojenja \$/kW

Troškovi nabave se procjenjuju na osnovu parametra \$/kW. Ovaj parametar uključuje ukupne troškove nabave zajedno s potrebnim dozvolama. Treba napomenuti da se to odnosi na neku N-tu jedinicu u serijskoj proizvodnji, i ne uključuje nepovratne troškove prototipa. Ovi troškovi odnose se samo na troškove pogonskog postrojenja i ne uključuju cijenu broda. Ovo se smatra prikladnim pojednostavljenjem, budući da su troškovi nabave broda isti za sva pogonska postrojenja. Također se zanemaruje svaka situacija u kojoj bi izbor alternativnog pogona doveo do povećanja ili smanjenja troškova ostatka broda, bilo zbog složenijih ili jednostavnijih instalacija. Međutim, ti razlozi se smatraju manje važnim i bolje ih je ostaviti za neku detaljniju studiju. Troškovi nabave postrojenja u \$/kW za pojedine pogone iznose:

• Dizel-mehanički pogon	175	\$/kW [3]
• Plinskoturbinski-mehanički pogon	250-400	\$/kW [3]
• Plinskoturbinsko-električni pogon	300-500	\$/kW [3]

2.4. Troškovi goriva \$/kWh

Koristeći specifičnu potrošnju i cijenu goriva dobivamo parametar troškova goriva u \$/kWh. Za sporohodne dizelske motore, koji koriste teško gorivo, uzeta je cijena od 90 do 120 \$ po toni goriva, a za dizelsko gorivo, koje se koristi za plinsku turbinu, uzeta je cijena od 150 do 180 \$ po toni goriva (kako ove cijene ne odgovaraju trenutnim cijenama goriva na tržištu, u posebnom poglavlju, pri kraju rada, analiziraju se pogoni ovisno o promjeni cijene goriva). Primjenom ovih cijena na potrošnju goriva, dobivaju se sljedeći rezultati specifičnih troškova goriva (\$/kWh):

• Dizel-mehanički pogon	0.013-0.020	\$/kWh
• Plinskoturbinski-mehanički pogon	0.030-0.050	\$/kWh
• Plinskoturbinsko-električni pogon	0.034-0.054	\$/kWh

Prikaz svih navedenih vrijednosti analiziranih parametara pojedinih pogona prikazane su u tablici 1.

	Dizel - mehanički pogon	Plinsko turbinski- mehanički pogon	Plinsko turbinsko- električni pogon
Težina postrojenja u kg / kW	31.78 kg/kW	1.5 - 3.8 kg/kW	14.5 - 16.8 kg/kW
Potrošnja goriva u g/kWh	170 g/kWh	206 - 277 g/kWh	227 - 304 g/kWh
Troškovi nabave u \$/kW	175 \$/kW	250 - 400 \$/kW	300 - 500 \$/kW
Troškovi goriva u \$/kW	0.013 - 0.020 \$/kW	0.030 - 0.050 \$/kW	0.034 - 0.054 \$/kW

Tablica 1. Ekonomski parametri pojedinih pogona

2.5. Prihodi broda

Svrha kontejnerskog broda je prijevoz određene tonaže tereta u kontejnerima. Svaki sustav koji umanjuje nosivost broda uzrokovat će proporcionalno smanjenje prihoda broda. Svaki sustav s manjom težinom pogonskog postrojenja dovest će do povećanja nosivosti što ujedno dovodi do povećanja prihoda.

Prilikom proračuna ovog faktora, težine alternativnih pogonskih sustava su uspoređene s težinom osnovnog sporohodnog dizel-motornog pogonskog sustava. Svaka razlika u težini (uključujući težinu goriva) utječe na prihode.

Najprije se težina alternativnog pogona uspoređuje s težinom dizel-motornog pogona. Svaka razlika u težini utječe na nosivost broda, uzimajući u obzir i težinu samog kontejnera. Zbog toga, pogon koji je lakši od osnovnog dizelskog pogona, imat će veću nosivost (dizel-motorni pogon ima 6000 TEU). Ova metoda zanemaruje probleme volumena i bavi se samo problemima težine.

Vrijednost troškova prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera, za osnovni brod (dizel-motorni pogon), iznosi 10 \$/TEU-dan (Izvor: American Ship Management Inc.), pri brzini broda od 25 čvorova.

Ukupni pogonski troškovi dijele se s nosivošću broda i danima plovidbe i dobivaju se pogonski troškovi prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera. Ova komponenta troškova varira od jednog do drugog alternativnog pogona.

Nepogonski troškovi prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera ne variraju između alternativnih pogona. Oni se dobivaju oduzimanjem pogonskih troškova prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera dizelskog pogona od ukupnih troškova prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera. Dobiveni ostatak predstavlja troškove prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera koji nisu uključeni u pogonske troškove.

Ukupni nepogonski troškovi dobivaju se množenjem nepogonskih troškova prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera s nosivošću broda i danima plovidbe, ali samo za osnovni brod. Pretpostavlja se da je ova komponenta konstantna za sve pogonske alternative jer predstavlja samo nepogonske elemente broda.

Pogonski i nepogonski troškovi se zbrajaju i zatim dijele s nosivošću broda alternativnog pogona i danima plovidbe, te na kraju dobivamo ukupne troškove prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera alternativnog pogona. Umnožak nosivosti broda alternativnog pogona i dana plovidbe varira jer težine alternativnih pogona variraju, a to dovodi do povećanja ili smanjenja količine tereta na brodu.

3. EKONOMSKA USPOREDBA REZULTATA ALTERNATIVNIH POGONA

Pregled parametara u tablici 1. jasno pokazuje da sporohodni dizel-motorni pogon ima najmanju potrošnju goriva i najniže troškove nabave, ali kao nedostatak ima najveću težinu. Postavlja se pitanje: "Da li smanjenje težine pogona kod alternativnih rješenja kompenzira povećanje troškova goriva i nabave?". Rezultati ekonomske analize prikazani su u tablici 2. Proračuni prikazani u tablici 2. mogu se shvatiti proučavajući formule u 4. stupcu. Radi lakšeg razumijevanja treba napomenuti:

- Podaci označeni kao "ulazni" označavaju ulazne parametre analize. Za svaki alternativni pogon prikazane su dvije metode: "najbolja" i "najlošija". Ove vrijednosti su uzete iz prethodnog poglavlja i tablice 1.;
- Snaga pogona, duljina putovanja i brzina broda su ulazni parametri, a predstavljaju zamišljeni brod prema trenutnom trendu gradnje kontejnerskih brodova;
- Ukupni troškovi nabave pogona izračunavaju se primjenom parametara \$/kW i snage pogonskog postrojenja u kW;
- Pretpostavlja se kamatna stopa i vrijeme amortizacije, kako bi se odredili troškovi nabave po putovanju i troškovi nabave po danu.
- Težina postrojenja i količina goriva se izračunavaju pomoću parametra tona/kW i tona/kWh prema tablici 1. Zbroj ovih dviju vrijednosti (ukupna težina pogonskog postrojenja) uspoređuje se s ukupnom težinom sporohodnog dizelskog pogona, a razlika predstavlja dodatnu nosivost. Kod nekih postrojenja ova vrijednost može biti negativna (tj. alternativno postrojenje je teže od sporohodnog dizelskog pogona). Dodatna nosivost uvodi pojam "uvećana nosivost broda", a izražava se u TEU jedinicama.
- Faktori troškova i prihoda broda se primjenjuju na izračunate parametre. Rezultati se zbrajaju i predstavljaju ukupne troškove po putovanju, a zatim se računaju ukupni troškovi prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera (najbolja i najlošija vrijednost za svaki alternativni pogon).

Redni broj	Parametri broda		Dizel-mehanički pogon		Plinskoturbinski-mehanički pogon		Plinskoturbinski-električni pogon	
	metoda		najbolja	najlošija	najbolja	najlošija	najbolja	najlošija
1.	Nosivost	TEU	6000	6000	6000	6000	6000	6000
2.	Potrebna snaga	kW	75 000	75 000	75 000	75 000	75 000	75 000
3.	Duljina putovanja	NM	6000	6000	6000	6000	6000	6000
4.	Brzina	čv	25	25	25	25	25	25
5.	Vrijeme putovanja	dani	10	10	10	10	10	10
6.	Težina kontejnera	t/TEU	14	14	14	14	14	14
Pogonski parametri								
7.	Težina postrojenja	kg/kW	31.78	31.78	1.5	3.8	14.5	16.8
8.	Potrošnja goriva	g/kWh	170	170	206	277	227	304
9.	Troškovi nabave	\$/kW	175	175	250	400	300	500
10.	Cijena goriva	\$/tona	80	120	150	180	150	180
11.	Troškovi goriva	\$/kWh	0.0136	0.0204	0.0309	0.04986	0.03405	0.05472
12.	Ostali radni troškovi	\$/kWh	0	0	0	0	0	0
13.	Korišteni kWh	kWh/putovanje	18 000 000	18 000 000	18 000 000	18 000 000	18 000 000	18 000 000

Tablica 2. Usporedba dizel- mehaničkog pogona s plinsko turbinskim alternativnim pogonima [3]

29.	Pogonski troškovi prostora za smještaj kontejnera	\$/TEU-dan	(27-dizel)/(5)x(19)	4.73 \$	6.77 \$				
30.	Nepogonski troškovi prostora za smještaj kontejnera	\$/TEU-dan	(28)-(29)	5.27 \$	3.23 \$				
31.	Ukupni nepogonski troškovi/putov.	\$/putovanje	(30)x(5)x(19)	316 024.25 \$	193 624.25 \$	193 624.25 \$	316 024.25 \$	193 624.25 \$	316 024.25 \$
32.	Ukupni brodski troškovi	\$/putovanje	(27)+(31)	600 000 \$	600 000 \$	805 789.61 \$	1 303 048.8 \$	873 682.68 \$	1 412 915 \$
33.	Ukupni troškovi prostora za smještaj kontejnera	\$/TEU-dan	(32)/(19)x(5)	13.18 \$	21.67 \$	14.51 \$	23.92 \$		
34.	Povećanje troškova prostora za smještaj kontejnera	\$/TEU-dan	(33)-(28-dizel)	3.18 \$	11.67 \$	4.51 \$	13.92 \$		

3.1. Rezultati analize

Prema rezultatima iz *tablice 2.*, ukupni troškovi kontejnerskog broda s dizel-motornim pogonom snage 75 MW, koji pređe put od 6000 NM, brzinom od 25 čvorova, približno su 600 000 \$. Od ove vrijednosti, između 283 000 i 406 000 \$ otpada na pogonske troškove, koji uključuju gorivo i troškove vraćanja novca za nabavu pogona. Ostatak od 193 000 do 316 000 \$ povezan je s vraćanjem novca za nabavu broda i radom nepogonskih komponenti broda. Ove vrijednosti odgovaraju ukupnom trošku prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera od 10 \$/TEU po danu.

Brod pogonjen plinskom turbinom ima 30-120% veće troškove. Na ekonomsku isplativost turbine najviše utječe cijena goriva. Plinska turbina troši više goriva nego osnovni dizelski motor, a gorivo je skuplje nego ono što troši dizelski motor. Također, cijene dizelskog goriva, koje se koristi za pogon plinskih turbina, više variraju u odnosu na cijene teškog goriva, koje se koristi kod dizelskog motora. Ovakva nepostojanost cijena, u prošlosti je izbacila plinske turbine iz nekih drugih tržišta. Analize plinskoturbinskog pogona pretpostavljaju, da će brod pogonjen plinskom turbinom imati veću nosivost. Stvarne analize pokazuju, da uštede na težini plinskoturbinskog postrojenja (nakon uračunavanja količine goriva), dovode do povećanja nosivosti broda za 10 do 100 TEU jedinica.

Plinskoturbinski-električni pogonski sustav, gledajući s ekonomskog stajališta, lošiji je od plinskoturbinskog-mehaničkog pogonskog sustava, zbog dodatnih troškova električnog prijenosa i povećanja potrebne snage zbog iskoristivosti električnog prijenosa. Prema najlošijim procjenama težina plinskoturbinskog-električnog pogona veća je od osnovnog dizel-motornog pogona, a ima i veće troškove. Prema najboljim procjenama, pogonski sustav je malo lakši i ima veću nosivost za 19 TEU jedinica, ali to ne nadoknađuje veće troškove od 300 000 do 400 000 \$.

Na prvi pogled, rezultati analize pokazuju da bi kontejnerski brodovi trebali imati dizel-motorni pogon. Svakodnevno promatranje tržišta kontejnerskih brodova pokazuje kako vlada isto mišljenje, tj. da prevladava dizel-motorni pogon. Ovi rezultati su također prikazali neke zanimljive mogućnosti i otvorili neka pitanja koja zahtjevaju detaljnije analize i studije ovisnosti.

3.2. Studija ovisnosti

U detaljnijoj analizi pokušat će se usporediti dizel-motorni pogon s plinskoturbinskim pogonom i SMGT plinskoturbinskim pogonom. SMGT (Super Marine Gas Turbine) je novija generacija plinskih turbina, koja ima izvedeno hlađenje sapnica i lopatica, što omogućuje više temperature plinova izgaranja na ulazu u turbinu, a time i bolji termodinamički stupanj iskoristivosti, koji se sasvim približava onima za motore. Također, ugradnjom kvalitetnih materijala za rotorske lopatice rješava se

problem visokotemperaturne korozije i omogućava korištenje goriva sličnih za dizel-motorni pogon [4],[5].

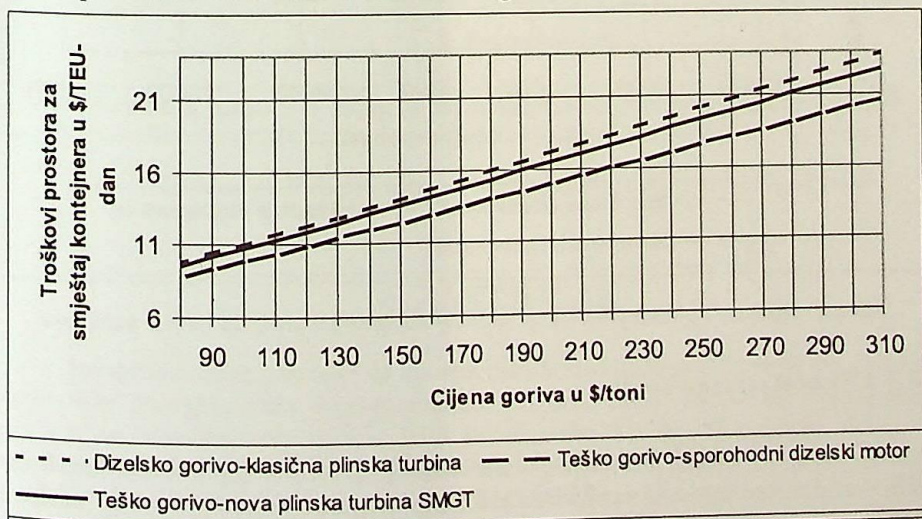
U detaljnijoj analizi postavlja se pitanje, da li postoji situacija u kojoj bi plinskoturbinski pogon bio jeftiniji od dizel-motornog? Ovo i još neka pitanja pokušat će se riješiti nizom studija ovisnosti koje će se provesti, a odgovaraju na pitanja:

- Do koje mjere zaključci ovise o cijenama goriva?
- Do koje mjere zaključci ovise o količini goriva tj. o pređenoj udaljenosti?
- Što ako se poveća brzina?

3.3.1. Ovisnost o cijeni goriva

Na slici 1. prikazana je ovisnost troškova prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera o promjeni cijene dizelskog goriva, koje se koristi za pogon plinske turbine i cijene teškog goriva, koje se koristi kod dizelskog motora i SMGT plinske turbine. Analiza je izvršena za osnovni dizelski motor, plinsku turbinu s najboljim karakteristikama, (u tablici 2. – najbolja verzija) i SMGT plinsku turbinu s karakteristikama kao i za plinsku turbinu, ali sa specifičnom potrošnjom goriva od 195 g/kWh [4],[5]. Analiza je izvršena na isti način kao i u tablici 2., a prikazana je na slici 1. Promjena cijene goriva vršila se od 80 do 310 \$, uz fiksnu vrijednost nepogonskih troškova za osnovni brod od 250 000 \$.

Iz slike se vidi, da će klasični plinskoturbinski pogon imati prednosti pred dizel-motornim pogonom jedino ako cijena dizelskog goriva bude manja nego cijena teškog goriva, što je u praksi nemoguće postići, ili ako stupanj djelovanja plinske turbine i SMGT plinske turbine bude veći od dizelskog motora.

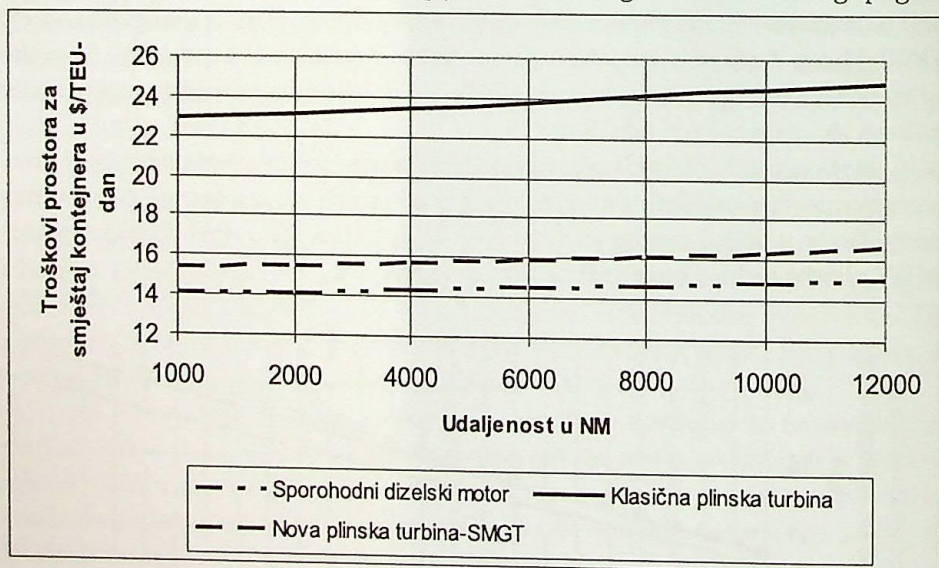


Slika 1. Ovisnost troškova prostora za smještaj kontejnera o promjeni cijene goriva

3.3.2. Ovisnost o duljini putovanja

Ovisnost troškova prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera o promjeni duljine putovanja prikazana je na slici 2. Analiza je izvršena za osnovni dizelski motor, plinsku turbinu s najboljim karakteristikama (u tablici 2. – najbolja verzija) i SMGT plinsku turbinu s karakteristikama kao i za plinsku turbinu, ali sa specifičnom potrošnjom goriva od 195 g/kWh. Promjena duljine putovanja vršila se od 1000 do 12 000 NM, uz fiksnu vrijednost nepogonskih troškova za osnovni brod od 250 000 \$ i trenutne cijene teškog goriva od 190 \$ i dizelskog goriva od 310 \$.

Kao što se vidi iz slike, promjena troškova za smještaj dvadesetstopnog kontejnera dizel-motornog pogona je unutar 1 \$, tj. povećanje iznosi 6,9%, kod plinkoturbinskog pogona, promjena troškova za smještaj dvadesetstopnog kontejnera je unutar 2 \$, tj. povećanje iznosi 8,3%, dok kod SMGT turbine, promjena troškova za smještaj dvadesetstopnog kontejnera je unutar 1,50 \$, tj. povećanje iznosi 8,3%. Također, plinkoturbinski pogon je u prosjeku za 64%, a SMGT plinkoturbinski za samo 9,6% skuplji od osnovnog dizel-motornog pogona.



Slika 2. Ovisnost troškova prostora za smještaj kontejnera o promjeni duljine putovanja

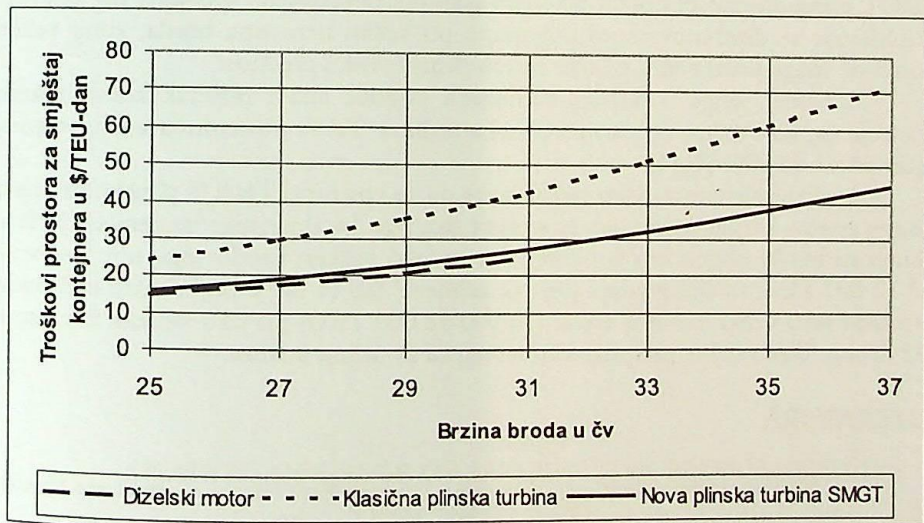
3.3.3. Ovisnost o brzini broda

U ovoj se analizi pretpostavilo da snaga pogona ovisi o kubnoj vrijednosti brzine broda. Ako je potrebno 75 000 kW snage pogona, za postići brzinu broda od 25 čvorova, formula glasi $P=4,8 v^3$. Koristeći ovu formulu u rasponu od 25 do 37 čvorova, ovisnost troškova prostora za smještaj dvadesetstopnog kontejnera o promjeni brzine broda, može se prikazati na slici 3. Analiza je izvršena za osnovni dizelski

motor, plinsku turbinu s najboljim karakteristikama (u tablici 2. – najbolja verzija) i SMGT plinsku turbinu s karakteristikama kao i za plinsku turbinu, ali sa specifičnom potrošnjom goriva od 195 g/kWh, uz fiksnu vrijednost nepogonskih troškova za osnovni brod od 250 000 \$ i trenutne cijene teškog goriva od 190 \$ i dizelskog goriva od 310 \$.

Kao što se vidi iz slike, promjena troškova za smještaj dvadesetstopnog kontejnera dizel-motornog pogona i alternativnih plinskoturbinskih pogona, skoro su paralelni. Plinskoturbinski pogon je u prosjeku za 69%, a SMGT plinskoturbinski za samo 9,5% skuplji od osnovnog dizel-motornog pogona.

Na slici je prikazana upotreba dizel-motornog pogona do brzine broda od 31-og čvora, jer daljnje povećanje brzine broda zahtjeva veće snage postrojenja, koje dizel-motorni pogon ne može razviti. To znači, da će se pri većim brzinama broda koristiti plinskoturbinska postrojenja.



Slika 3. Ovisnost troškova prostora za smještaj kontejnera o promjeni brzine broda

4. ZAKLJUČAK

Izvršena analiza pokazuje da klasični plinskoturbinski pogon trenutno ne može konkurirati sporohodnom dizel-motornom pogonu. Ovaj rezultat se u potpunosti poklapa sa istraživanjem tržišta, gdje kontejnerski brodovi pogonjeni plinskom turbinom nisu zastupljeni. Uvođenje električnog prijenosa (plinskoturbinski-električni pogon) još je pogoršalo stanje, zbog neučinkovitosti i utjecaja težine komponenti električnog prijenosa.

Analizirani osnovni brod, s plinskoturbinskim pogonom, ima 30-120% veće troškove, a plinskoturbinski-električni pogon, ima 45-140% veće troškove od dizel-

motornog pogona.

Najveći nedostatak plinske turbine je lošiji stupanj djelovanja u odnosu na dizelski motor, zbog čega se povećava potrebna količina goriva po putovanju, a time se ukupna nosivost pogonskog stroja približava dizel-motornom pogonu. Drugi veći nedostatak plinske turbine je upotreba dizelskog goriva, koje je skuplje u odnosu na teško gorivo, a koristi se kod dizelskog motora.

Kako bi se poboljšao ukupni stupanj djelovanja, novije generacije plinskih turbina uključuju međuhlađenje zraka i regenerator, kojim se iskorištava toplina ispušnih plinova. Također, proizvođači plinskih turbina već proizvode SMGT plinske turbine koje rade na teško gorivo i imaju stupanj djelovanja skoro kao i dizelski motor. Velika prednost plinskih turbina je i da su značajno sigurniji porivni strojevi od dizel-motora, tj. mogu raditi i tisuće sati samo s periodičnim pregledima.

Kod detaljnijih analiza, usporedbe dizel-motornog pogona s plinskoturbinskim pogonom, u ovisnosti o promjeni cijene goriva, duljine putovanja i brzine broda, SMGT plinskoturbinski pogon pokazuje jako dobre rezultate. Troškovi tog pogona približavaju se dizel-motornom pogonu, a pri većim brzinama broda, zbog velike potrebne snage postrojenja, plinske turbine imaju veliku prednost.

Značajnu ulogu u razvoju turbinskih pogona ima i razvitak kombiniranih postrojenja, koja uključuju parnu i plinsku turbinu. Takva postrojenja imaju stupanj djelovanja i do 60% [7],[8].

Analiza izvršena u ovom radu lako se može i proširiti. Da li bi plinskoturbinski pogon postao konkurentniji ako bi se neke osnovne karakteristike izmjenile? Da li bi plinskoturbinski pogon bio konkurentniji na jako velikim brodovima, npr. nosivost od 10 000 TEU, za čiju gradnju postoje zahtjevi? Što će biti u budućnosti kad budu prevozili jako velike količine tereta (10 000-12 000 TEU) pri jako velikim brzinama (32 čvora). Ove i slične pretpostavke, temelj su za daljnje analize.

LITERATURA

- [1] C.B.McKesson: Alternative powering for merchant ships - *Current and Forecast Powering Needs - Task 1*, California Sate Univesity, 2001
- [2] C.B.McKesson: Alternative powering for merchant ships - *Survey of Available Alternative Powerplants for Container Ships - Task 2*, California Sate Univesity, 2001
- [3] C.B.McKesson: Alternative powering for merchant ships - *Economic Analysis of Powering Alternatives - Task 3*, California Sate Univesity, 2001
- [4] T. Sugimoto, M. Tanaka, Tehnological Reserarch Association of Super Marine Gas Turbine, *R&D of Next-generation Marine Gas Turbine (Super Marine Gas Turbine)*, Tokyo, Japan, 2001, Nishishinbashi, Minato-ku, 1-5-14.
- [5] E. Tireli, D. Martinović, *Nova generacija brodskih plinskih turbina u zamjenu za brodske sporobodne dizelske motore*, Pomorstvo (br. 16) 2002.
- [6] D. A. Rains, *DD 963 Power Plant*, 2002.
- [7] S. Ashley, *Fuel Saving Warship Drives*, 2002.

Summary

ANALYSIS OF USAGE OF ALTERNATIVE PROPULSIONS ON
CONTAINER SHIPS

The paper analyzes the economic justification for the development of alternative powering systems for container ships. It gives an economy and reliability study of the currently most acceptable diesel-engine propulsion as compared to alternative powering systems, the gas turbine mechanical drive and the gas turbine electrical drive. The purpose of the paper is to assess the economic justification for the development of alternative powering on container ships, that is to say, will these drives bring about an improvement in the profitability of this type of ships. The analysis of the powering system is carried out in accordance with the following parameters: weight of power plant in kg/kW, fuel consumption in kg/kWh, supply costs in \$/kW, and the costs of fuel in \$/kW.

Key words: analysis, economy, container ship, powering systems, costs

*Faculty of Maritime Studies Rijeka
Studentska 2, 51000 Rijeka
Croatia*