

Dr. sc. **Enco Tirelli**  
Mr. sc. **Dragan Martinović**  
Pomorski fakultet u Rijeci  
Studentska 2, Rijeka  
E-mail: tirelli@pfri, dragec@pfri.hr

Prethodno priopćenje  
UDK: 621.436  
621.438  
629.5

## NOVA GENERACIJA BRODSKIH PLINSKIH TURBINA U ZAMJENU ZA BRODSKE SPOROHODNE DIZELSKJE MOTORE

*Norme u zaštiti okoliša i potreba za porivnim strojem boljeg stupnja iskoristivosti, konačno daju prve rezultate. Velike emisije NOx sporohodnih brodskih dizelskih motora ograničavaju se novim propisima nakon 2000 godine.*

*Od 1997. godine većina svjetskih proizvođača plinskih turbina (IHI, KHI, Daihatsu Diesel, Niigata Engineering i Yanmar Diesel) rade na razvoju nove generacije brodskih plinskih turbina pod nazivom Super Marine Gas Turbine – SMGT. SMGT ima izgledje ugroziti primat u primjeni sporohodnih brodskih dizelskih motora kod srednjih i većih snaga.*

*U ovom se članku sumiraju svi učinci i usporedbe SMGT-a sa sporohodnim brodskim dizelskim motorom.*

*Ključne riječi: plinska turbina, brodski dizelski motor*

### 1. UVOD

Prije pedeset godina bilo je nezamislivo u zrakoplovstvu ugraditi plinsku turbinu umjesto klipnog motora. Danas se klipni motori u zrakoplovstvu koriste u pravilu samo za male sportske avione, dok se za veće avione upotrebljava plinska turbina. Taj dugogodišnji razvoj plinskih turbina u zrakoplovstvu omogućio je plinskoj turbini sigurnost i jednostavnost u primjeni.

Postavlja se pitanje može li se slično dogoditi i s brodskim porivnim strojevima. U ovom se članku upravo postavlja teza sličnosti.

Svaku se novogradnju broda iznova mora podvrgnuti analizi ekonomske i tehničke prihvatljivosti, jer se brže nego ikad mijenjaju kriteriji za izbor porivnog stroja. U uže kriterije za izbor porivnog stroja svakako spadaju:

- trošak goriva, održavanja i posade
- zaštita okoliša

- pogonska sigurnost
- mogućnost korištenja različitih goriva
- cijena i veličina porivnog stroja.

Zbog važnosti pojedinog kriterija, u različitim se vremenskim razdobljima redosljed kriterija mjenja.

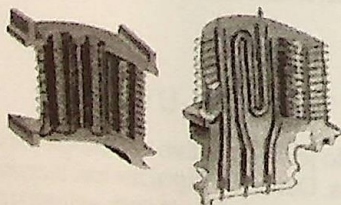
U nastavku se uspoređuju osnovne značajke novih generacija sporohodnih dizelskih motora (u nastavku – motor) i nove generacije plinske turbine nazvane *Super Marine Gas Turbine* (u nastavku – SMGT). Usporedba se izvodi ponajprije vezano uz osnovne troškove koji su određeni tehničkim rješenjima. U usporedbu uvode se nove izvedbe plinskih turbina, koje su doduše još u razvojnoj fazi, kod kojih se značajno povećava termodinamički stupanj djelovanja i uvodi mogućnost korištenja miješanih goriva gotovo sličnih značajki kao za motore. Radi ilustracije, navodi se primjer za tanker nosivosti 150.000 tona u području snaga 40 MW i godišnje plovidbe od 5.500 sati.

## 2. USPOREDBA ZNAČAJKI DIZELSKIH MOTORA i SMGT-a

Novo u izvedbi SMGT-a je hlađenje i prvog reda lopatica turbine (1 st Stage Blade), a ne samo prvog reda sapnica (1 st Stage Nozzle), kao što je to izvedeno kod konvencionalnih plinskih turbina.

Prednost hlađenja rotorskih lopatica (1 st Stage Blade), prikazano na slici 1., omogućuje više temperature plinova izgaranja na ulazu u turbinu, a time i bolji termodinamički stupanj iskoristivosti, koji se sasvim približava onima za motore. Ugradnjom kvalitetnih materijala za rotorske lopatice rješava se problem visokotemperaturne korozije i omogućava korištenje goriva sličnih za motorni poriv.

1 red sapnica      1 red lopatica



Slika 1. Sustav hlađenja sapnica i lopatica

Motorni poriv limitiran je snagama po jedinici volumena cilindra i veličinom cilindra, što se ne odnosi na veličinu plinske turbine koja ima sve bolje performanse kod većih snaga, osobito iznad 60.00 kW.

Što se pak kvalitete goriva tiče, kod sporohodnih motora koristi se brodsko ostatno gorivo – *Marine residual fuels* (MRF) prema ISO 8217 (1996), a SMGT će koristiti u budućnosti mješavinu brodskog ostatnoga gorivo i brodskog destilatnoga goriva – *Marine distillate fuels* (MDF) u omjeru (90:10).

Ta dva goriva imaju sljedeće tipične značajke:

	Brodsko destilatno gorivo (MDF)	brodsko ostatno gorivo (MRF)
Viskoznost	5 cSt@ 50 °C	500 cSt@ 50 °C
Temperatura tečenja	6 °C	30 °C
Sadržaj vanadija	-	600 mg/kg
Temperatura plamišta	60 °C	60 °C
Sadržaj sumpora (maseni)	1,5 %	3,5 %
Donja toplinska vrijednost goriva	41,7 MJ/kg	40,5 MJ/kg
Gustoća goriva (ISO 8217 -1996)	900 kg/m <sup>3</sup> kod 15 °C	991 kg/m <sup>3</sup> kod 15 °C

Trošak goriva čini najveći dio tzv. direktnih troškova, koji se redovito kreću oko 50% pa su cijena i potrošnja goriva po jedinici snage među važnijim kriterijima.

Uzme li se u obzir da je razina cijene sirove nafte na 160 \$/toni, a cijena MRF goriva oko 75% od cijene sirove nafte, proizlazi da je sada razina MRF-a goriva 120 \$/toni.

Koncepcija novog SMGT-a predviđa korištenje goriva koje odgovara miješanom gorivu IF 180 (180 cSt kod 50 °C). Gorivo IF 180 dobiva se miješanjem MRF-a i MDF u omjeru 90:10. Gorivo IF 180 ima razinu cijene 160 \$/toni.

Uspoređujući cijenu i donju toplinsku vrijednost korištenih goriva, proizlazi da je cijena toplinske energije MRF-a goriva za motor 1,066 US\$/kWh, a cijena toplinske energije goriva IF 180 za SMGT 1,415 US\$/kWh. Dakle, toplinska energija iz goriva MRF za motor jeftinija je za 24,6% od goriva IF 180 za SMGT.

Nov SMGT radi s brzinom vrtnje oko 21.000 min<sup>-1</sup> i s toplinskim stupnjem djelovanja od 41,8%, što se može smatrati ravnim onom za motore, a odgovara potrošnji goriva od 212 g/kWh.

U konačnosti je trošak goriva godišnje plovidbe od 5.500 sati i usporedne snage od 40 MW povoljniji kod motora za približno 768.800 \$.

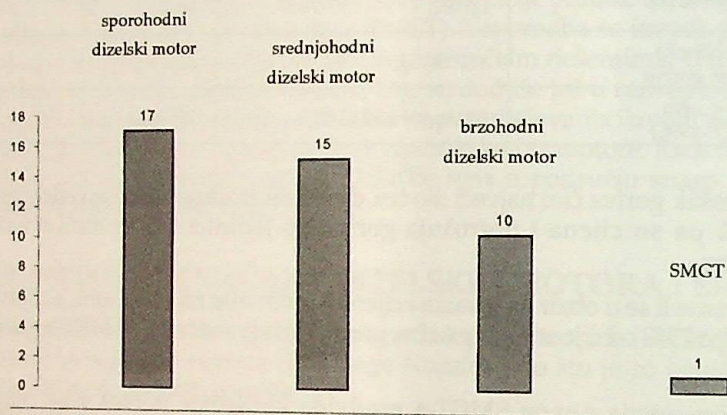
Zna se da se prijevoz sirove nafte i njezinih derivata događa redovito uz grijanje tereta do 10 °C iznad temperature tečenja (Pour Point) za što je potrebna velika količina topline koja se kod motornog pogona mora proizvoditi u kotlovima. Ilustracije radi, za povećanje temperature tereta sirove nafte za samo 1 °C, potrebno je za naznačenu nosivost tankera osigurati 7.500 kg goriva, što se kod plinske turbine može osigurati iza rekuperatora. Budući će SMGT raditi s visokim ulaznim temperaturama i do 1.200 °C te izlaznim temperaturama većim od motora.

S obzirom na izvedbu motora i SMGT, troškovi održavanja kod SMGT-a su dvostruko manji i iznose približno 250.000 \$/god., a zastoji zbog održavanja su dvostruko kraći, što je posebno važno i ima svoju cijenu.

Iz iskustva i predviđanja opsluge SMGT-a, troškovi posade mogu se računati s dvostruko manjim iznosom i iznose reda veličine 900.000 \$/god.

U zaštiti okoliša od emisija iz porivnih strojeva brodova, tendencija je poštivanje standarda koji vrijedi za motorna vozila na kopnu. Posebno se to odnosi na emisiju dušičnih spojeva  $\text{NO}_x$ .

Emisije  $\text{NO}_x$  kod sporohodnih brodskih dizelskih motora iznose približno 17 g  $\text{NO}_x$ /kWh. Korištenjem nove generacije brodskih plinskih turbina SMGT, emisije  $\text{NO}_x$  moguće je smanjiti ispod 1 g  $\text{NO}_x$ /kWh. Odnos emisija  $\text{NO}_x$  izraženo u g/kWh kod različitih porivnih strojeva prikazan je na slici 2.



Slika 2. Odnos emisija  $\text{NO}_x$  g/kWh kod različitih porivnih strojeva

Saznanja iz proizvodnje plinskih turbina za zrakoplovstvo, koriste se u proizvodnji plinskih turbina za poriv brodova, pa je nepobitno da su brodske plinske turbine mnogo sigurniji porivni stroj od brodskog motora.

Za razliku od motora, SMGT će moći mijenjati vrstu goriva, što daje posebnu pogodnost. Poznati su slučajevi korištenja i plinskog goriva, što će u budućnosti biti prihvatljivije, a u čemu ima prednost plinska turbina.

Cijena i veličina porivnog stroja umnogome utječe na cijenu prijevoza. Iz proizvođačkih podataka zaključuje se da je nabavna cijena motora i SMGT-a slična za promatranu veličinu snage, a da je pritom SMGT dvostruko lakši od motora. Takve veličine porivnih strojeva zahtijevaju različite volumene strojarnice. Motor zahtijeva 8 puta veći volumen strojarnice od plinske turbine. U promatranom slučaju ukupni motorni porivni sustav zahtijeva strojarnicu obujma 8000 m<sup>3</sup>.

### 3. ZAKLJUČAK

U tablici 1. prikazana je usporedba sporohodnog dizelskog motora i SMGT-a. Referentno je uzeto pet oznaka, a manji broj oznaka predstavlja nedostatak porivnog stroja.

Tablica 1. Usporedba sporohodnog dizelskog motora (SDM) i SMGT

Vrsta troškova	SDM	SMGT
Trošak goriva	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
Trošak održavanja	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Trošak posade	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Zaštita okoliša	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Pogonska sigurnost	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Mogućnost korištenja različitih goriva	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Cijena porivnog stroja	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Veličina porivnog stroja	■	■ ■ ■ ■ ■

Iz promatranih kriterija pri usporedbi sporohodnog dizelskog motora i SMGT-a, zaključuje se da je budući SMGT troškovno, sigurnosno i u zaštiti okoline, porivni stroj koji će u budućnosti istiskivati korištenje brodskoga motornog poriva kod većih snaga od 40.000 kW.

#### LITERATURA

- [1] T. Sugimoto, M. Tanaka, Tehnological Research 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.
- [2] GG Connor, The Marine Proteus Gas Gurbine-40 years of continuous service, Trans ImarE, Vol 112, Part I, 2000, str. 87.-94.
- [3] KO Skjolvsvik, Emission from Ships, Trans ImarE, Vol 112, Part I, 2000, str. 95.-102.
- [4] Yuji Danjoh, Guidance on Measures to cope with degraded Marine Fuel Oils, Trans ImarE, Vol 109, Part 4, 1997., str. 365.-383.
- [5] PJ. Newbery, Ongoing Development of the International Marine Fuel Standard, Trans ImarE, Vol 108, Part 4, 1996., str. 241.-257.
- [6] R Tornton, Fuels analysis and the aluminium/catalyst content argument, in The Seventh International marine propulsion Conference, London, 1985.
- [7] T&E, Air pollution from Sea vessels, European Federation for Transport and Environment (1996).
- [8] International Maritime Organisation (IMO), Designation of the North Sea Area as an SOx Emission Control Area, MEPC 44/11/4 (2000).
- [9] Technologies for Reduced Environmental Impact from Ships (TRESHIP), State -of-the-Art Report, European Commission 5th Framework Programme Thematic Network, issue 1 (September 1999).

*Summary*

**A NEW MARINE GAS TURBINE GENERATION  
IN EXCHANGE OF THE LOW-SPEED MARINE DIESEL ENGINES**

*The environmental protection standards and the need for a better efficiency rate of propulsion engines have finally produced the first results. Large NOx emissions in low-speed marine diesel engines have been limited by new regulations as of the year 2000. Since 1997 most gas turbine manufacturers (IHI, KHI, Daihatsu Diesel, Niigata Engineering and Yanmar Diesel) have been working hard on the development of a new marine gas turbine generation called Super Marine Gas Turbine- SMGT. The SMGT has a tendency to become a more widely used unit than low-speed diesel engines of medium and high output. The paper aims at summarising all the advantages of the SMGT compared to low-speed marine diesel engines.*

*Key words: gas turbine, marine diesel engine*