

Mr. sc. **Predrag Kralj**
Dr. sc. **Dragan Martinović**
Mr. sc. **Ante Bukša**
Visoka pomorska škola u Rijeci
Studentska 2, Rijeka

Prethodno priopćenje
UDK 62-8:621.438:629.5.064

PLINSKE TURBINE I KOMBINIRANI POGONSKI SUSTAVI

Sporohodni dvotaktni dizel-motori po ugrađenoj snazi, a srednjohodni četverotaktni dizel-motori po broju ugrađenih jedinica, dominiraju s velikim postotkom u brodograđevnoj industriji. Toplinske turbine zauzimaju vrlo mali "prostor" na tržištu pogonskih sustava. U radu se daje pregled brodskih pogonskih sustava. Električna propulzija povezana s plinskim turbinama ili kombiniranim pogonskim sustavima posebno se obrađuje. Ističu se prednosti i nedostaci takva pogona te predviđa trend ugradnje različitih pogonskih sustava.

1. UVOD

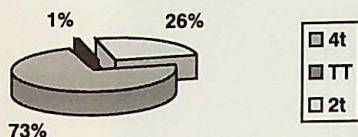
Nastojanje da se postigne veća snaga pogonskog stroja, veća iskoristivost ili kompaktnost stroja i strojarne te drugi razlozi, poticali su razvoj pojedinih brodskih pogonskih sustava, ali su utjecali i na zainteresiranost brodovlasnika za istima. Parni stapni stroj zamjenjuje jedra sredinom 19. stoljeća; parna turbina, najprije bez reduktora, a zatim s reduktorom postaje atraktivna početkom 20. stoljeća; turboelektrični pogonski sustavi uvode se 20-ih godina 20. stoljeća; dizel-motori gotovo potpuno istiskuju turbine tijekom zadnjih četrdesetak godina.

U ranim devedesetim godinama među brodskim pogonskim strojevima dominirao je dizel-motor. Prema ugrađenoj snazi prevladavaju sporohodni dvotaktni dizel-motori, a prema broju ugrađenih jedinica srednjohodni četverotaktni dizel-motori. Udio pojedine vrste pogonskog stroja u trgovačkoj mornarici, ranih devedesetih godina, prikazan je na slici 1.

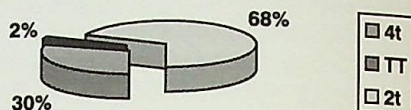
Glavni čimbenici koji danas utječu na razvoj brodskih pogonskih strojeva jesu: težnja za većom iskoristivošću pogonskog stroja i efikasnošću cijelog broda, težnja brodogradilišta za efikasnijom i jeftinijom izgradnjom premještanjem radova s navoza u radionice te međunarodni propisi o zaštiti morskog okoliša.

Iako dizel-motori još uvijek prevladavaju, plinska se turbina sve više probija na tržište, povezana s elektromotornim pogonom i azipod propulzijom. Elektromotorna propulzija zanimljiva je za veće putničke brodove zbog potrebnih velikih pogonskih snaga te velikih potreba električne energije za ostale potrošače. Na teretnim brodovima (rasuti teret, RO-RO, tankeri), ali i na putničkim brodovima, može omogućiti povećanje prostora za teret odnosno putnike.

Udio pogonskih strojeva po broju jedinica



Udio pogonskih strojeva po ugrađenoj snazi



Slika 1. Pogonski strojevi početkom devedesetih, gdje su 2t i 4t oznake za dvotaktne i četverotaktne dizel-motore, a TT za toplinske turbine [1]

2. PORIVNI SUSTAVI

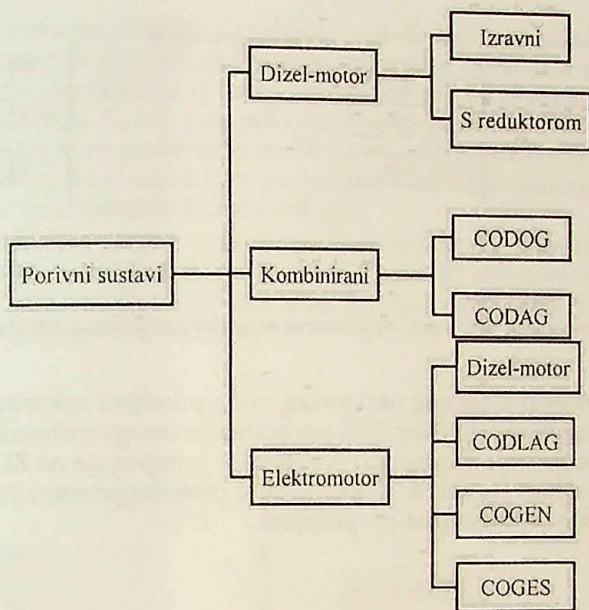
Dizel-motorni porivni sustavi dijele se na izravni porivni sustav i na sustave s reduktorom. Više je izvedaba sustava s reduktorom koje se razlikuju po broju porivnih strojeva, broju propulzora spojenih na reduktor/e ili broju reduktora [5]. Kombinirani porivni sustavi, koji se obično kraće označavaju s CODOG (engl. COmbined Diesel Or Gas turbine) ili CODAG (engl. COmbined Diesel And Gas turbine), sastoje se od jednog ili više dizel-motora i jedne ili više plinskih turbina, povezanih preko reduktora s jednim ili više propulzora.

Svi su prije navedeni porivni sustavi dobro razrađeni, poznati po svojim karakteristikama u praksi i osim kombiniranih porivnih sustava, koji se prije svega primjenjuju na ratnim brodovima, ostali se koriste zbog osnovnih prednosti modernih dizel-motora: (1) veći stupanj iskoristivosti takva toplinskog stroja i (2) upotreba nekvalitetnijeg pa stoga i jeftinijeg goriva (HFO).

Brodovlasnici danas sve više pažnje posvećuju elektromotornoj propulziji koja se najčešće sastoji od generatora s konstantnim brojem okretaja (dizel-motor ili toplinska turbina), izmjeničnog elektromotora snage iznad 20 MW s regulacijom broja okretaja, a u obzir dolazi i primjena reduktora. Elektromotorna je propulzija zanimljiva ne samo zbog velike snage pogonskog stroja, već i zbog velikih zakretnih momenata, dobre regulacije broja okretaja te mogućnosti izvedbe kompaktnije strojarnice čime se oslobađa prostor za teret ili kabine putnika i posade.

Osim dizel-motora, za pogon generatora sve se više koriste plinske turbine u kombinaciji s parnom turbinom – COGES sustav (engl. COmbined Gas Electric and Steam), u kombinaciji s dizel-motorom – CODLAG-sustav (engl. COmbined Diesel-eLectric And Gas turbine) ili u COGEN-sustavu u kojem se otpadna toplina sadržana u ispušnim plinovima turbine upotrebljava samo za proizvodnju pare za brodske potrebe.

Na slici 2. prikazana je opća podjela porivnih sustava. Nisu istaknute mnogobrojne različite izvedbe dizel-motornih, a napose konstrukcijske razlike elektromotornih sustava, kao ni porivni sustavi većih ratnih jedinica.

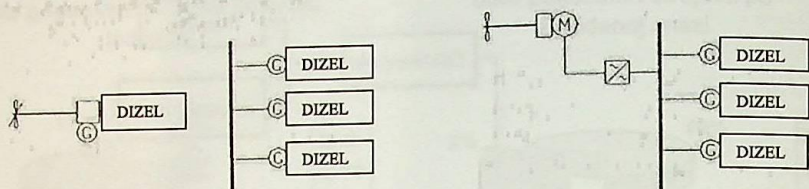


Slika 2. Podjela porivnih sustava

Budući da je elektromotorna propulzija gotovo uvijek skuplji pogonski sustav od mehaničkog pogona, prednosti se moraju ostvariti na drugi način: razmješanjem komponenti pogonskog sustava (od strojeva do tankova goriva), čime se dobiva više prostora za teret na tankerima, veća manovrabilnost na RO-RO brodovima te veći broj kabina ili viši standard na putničkim brodovima; primjenom čistijega goriva, što je zanimljivo tijekom plovidbe u propisima o zaštiti okoliša posebno zaštićenim vodama i dr.

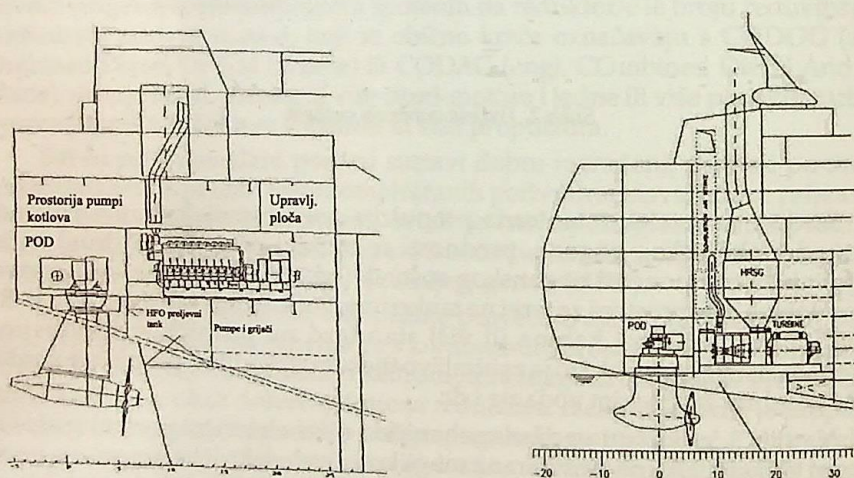
Na slici 3. prikazani su dizel-mehanički i dizel-električni porivni sustav na tipičnom tankeru. Ukupna instalirana snaga kod dizel-električne propulzije manja je za 10 – 15%. Strojarnica kod dizel-električnog poriva obično je i za oko 5m kraća pa se taj prostor može iskoristiti na sljedeće načine:

1. zadržati isti teretni prostor i glavne dimenzije, no optimizirati oblik trupa i postići manju potrebnu porivnu snagu;
2. skratiti trup i uštedjeti na materijalu (oko 150 – 200t), no time se nešto gubi zbog povećanog otpora trupa;
3. zadržati originalne dimenzije i povećati prostor za teret, čime se ujedno zbog izmijenjenih svojstava trupa postigne i veća iskoristivost propulzije. Brodovlasnici se obično odlučuju za posljednju opciju.



Slika 3. Principijelna shema porivnog sustava na tankeru za prijevoz kemikalija [4]

Ako se umjesto klasičnog osovinskog voda primijeni zakretni propeler ili pod-propulzor, može se postići oko 10% povećanja teretnog prostora ili prostora za putnike. Takvo je rješenje zanimljivo i sve se češće primjenjuje na RO-RO i brzim putničkim brodovima. Na slici 4. prikazani su u presjeku prostori strojeva dvaju brodova s elektromotornom pod-propulzijom.



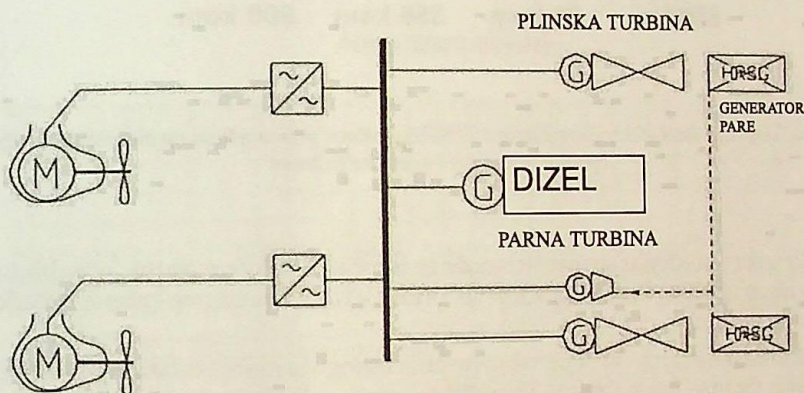
Slika 4. Razmještaj u prostoru strojeva kod pod-propulzije

Tipični dizel-električno pogonjeni Panamax putnički brod ima obično 1.000 putničkih kabina. Smještajem strojeva kao na slici 4. te svih servisnih službi na donje palube, može se dobiti oko 160 dodatnih putničkih kabina.

3. ELEKTROMOTORNA PROPULZIJA

Ako se elektromotorna propulzija, općenito, pokaže kao optimalno rješenje, tada se i COGES-sustav ili koje drugo rješenje s plinskim turbinama može pokazati primjenjivim. Brodogradilišta (posebno putničkih brodova) provela su veći broj istraživanja/projekata [2,3,4] koja pokazuju takve rezultate. Naime, usporedba projekata strojarnice na putničkom brodu nosivosti 80.000 GRT za prijevoz 2.500 putnika, za slučaj dizel-električne propulzije i COGES-sustava, pokazuje da COGES-sustav ima nekoliko bitnih prednosti.

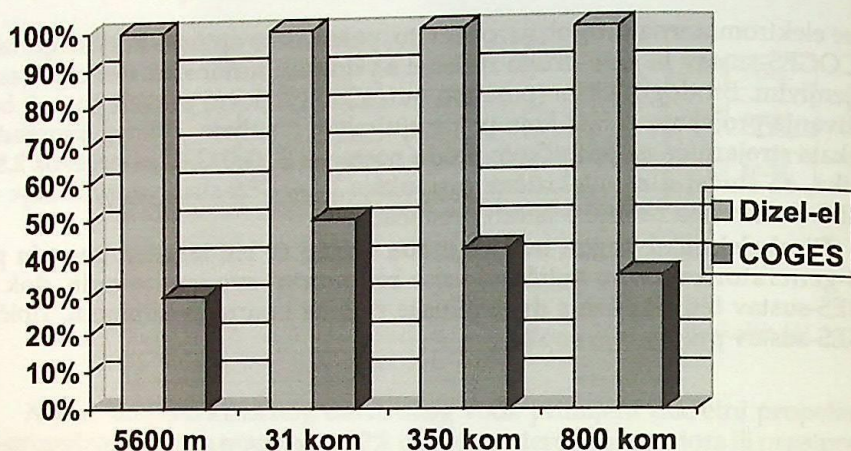
Dizel-električni pogon ovakva broda obično će biti izveden pomoću pet dizel-generatora u dvije veličine, kako bi "pokrili" sve uvjete rada, dok će COGES-sustav biti izveden s dvije plinske turbine i parnom turbinom. Tipičan COGES-sustav prikazan je na slici 5.



Slika 5. Tipičan COGES-sustav s dvjema plinskim turbinama, jednom parnom turbinom te dizel-generatorom za nuždu

Jedna plinska i parna turbina u paralelnom radu pokrivaju oko 90% radnog vremena. Maksimalna tražena operativna brzina može se postići jednom plinskom turbinom pa je druga plinska turbina uglavnom "spremna za pogon", pružajući tako gotovo 100% stupanj redundancije.

Primjenom samo dviju plinskih turbina ostvaruje se i ušteda u prostoru strojarnice, a posebno iznad sedme palube smještajem usisa zraka na razini šeste palube bočno ili po krmi. Na brodu takve veličine ostvaruje se oko 1.300 m² uštede na prostoru strojarnice. Budući da druga plinska turbina pruža gotovo 100%-tnu redundanciju tijekom gotovo cijelog vremena rada, pomoćni se sustavi mogu maksimalno pojednostavniti. Uštede koje se tako postižu prikazane su dijagramom na slici 6. Može se uštedjeti oko 5.600 m cijevi promjera većeg od DN15 (oko 10% cjevovoda), 350 ventila manje, 800 mjernih točaka manje, 90 strojnih komponenata manje od čega su oko 30 pumpe. To može iznositi oko 150 t uštedene mase na ugrađenoj opremi. Time se postiže i veća pouzdanost sustava a da se ne umanjuje redundancija.



Slika 6. Usporedba dizel-električnog poriva i COGES-sustava prema uštedi na cjevovodu, strojnoj opremi, ventilima i mjernim točkama

Prostor ušteden u strojarnici može se iskoristiti za nove putničke kabine (za brod ovakve veličine više od dvadesetak putničkih kabina), nove kabine posade te njihovu kvalitetu.

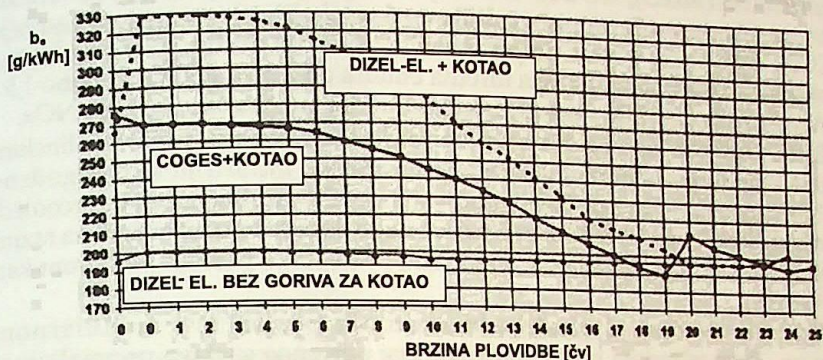
Toplinska iskoristivost plinskih turbina mnogo je manja od dizel- motora, no za valjanu usporedbu potrebno je voditi računa i o sljedećem:

1. kombinirani ciklus poput ovog ima veći stupanj iskoristivosti nego sama plinska turbina;
2. toplinske potrebe dizel-električnog poriva veće su jer HFO treba zagrijavati;
3. električno je opterećenje dizel-električnog poriva veće zbog pomoćnih sustava;
4. gorivo za plinske turbine (MGO) ima veću ogrjevnu vrijednost.

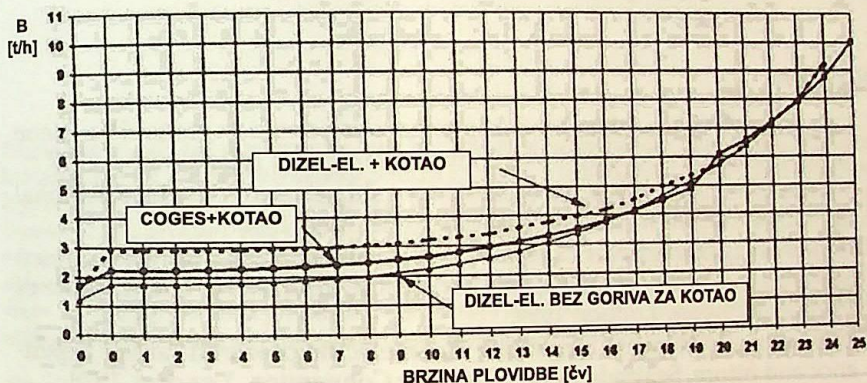
Na putničkom se brodu s dizel-električnim porivom toplinska energija ostvaruje djelomično iskorištavanjem otpadne topline, a djelomično proizvodnjom pare u kotlovima na tekuće gorivo, dok kod COGES-propulzije takve potrebe nema. Na slici 6. prikazani su rezultati ispitivanja potrošnje goriva kod tih dvaju sustava uzimajući u obzir i potrebe za toplinskom energijom.

Primjer potrošnje prikazan na gornjim dijagramima odnosi se na poznatu liniju plovidbe. Osim za rad u luci, gdje COGES-sustav ima neznatno veću potrošnju goriva, te tijekom plovidbe brzinama većim od 20 čvorova, kada je potrošnja COGES-sustava oko 5% veća, ukupno je potrošnja dizel-električnog sustava veća za oko 7%, što na tjedan iznosi približno 40 t.

SPECIFIČNA POTROŠNJA GORIVA



POTROŠNJA GORIVA



Slika 7. Potrošnja goriva uključujući i potrebe za toplinom [2]

4. ZAKLJUČAK

Prednosti električne propulzije pred pojedinim dizel-motornim pogonom višestruke su i mogu značiti prevagu nad bitnim nedostatkom – slabijom iskoristivošću. Električni pogonski sustav povezan s pod-propulzorom takvo rješenje čini još financijski zanimljivijim.

Postiže se veća manovrabilnost broda, strojni je prostor manji i dislociran, čime se umnogome povećava prostor za teret ili broj kabina za putnike i posadu, kao i kvaliteta tih prostora.

Uspoređujući dvije osnovne izvedbe elektropogona – dizel-električnu propulziju i COGES – pokazuje se da i plinska turbina postaje sve zanimljivija na tržištu. Troškovi nabavke strojeva i troškovi održavanja za te su dvije izvedbe

približno jednaki. Iako u osnovi troši manje goriva, zbog viših cijena goriva za plinske turbine (MGO), COGES sustav je s tog aspekta na gubitku. Treba, međutim, imati na umu da propisi o zaštiti morskog okoliša, tj. o smanjenju emisije NO_x, CO₂ i SO₂, mogu dovesti do porasta cijene teškoga goriva za sporohodne i srednjohodne dizel-motore. Plinska turbina emitira od 2,5 - 4 g/kWh, a samo 1,5 - 2,5 g/kWh ako je dio COGES-sustava, dok dizel-motor emitira oko 8 g/kWh NO_x.

Treba voditi računa i o činjenici da se do sada obično radilo o plinskim turbinama koje su prvobitno projektirane za avionsku industriju te prilagođene brodu. Na ratne se brodove počinje ugrađivati tzv. ICR turbina (engl. intercooled, recuperated), koja troši oko 30% manje goriva nego dosadašnje turbine ili na razini COGES-sustava. ICR turbina nema, međutim, potrebu za parnim sustavom kao COGES-sustav.

Sniženje se cijene izgradnje broda može postići tzv. modularnom izgradnjom. Time se radovi potrebni za smještaj porivnog sustava premještaju u radionice, a cijeli se porivni modul samo ugrađuje na brod.

Može se pretpostaviti da će potražnja za električnom propulzijom, a posebno za sustavima s plinskim turbinama, i dalje rasti. Veću će važnost takvi sustavi imati tek kad i pod-propulzor zauzme veći dio tržišta.

LITERATURA

- [1] I. Šegulja, Metoda odabira brodskog pogonskog stroja sa stanovišta cijene koštanja energije, Doktorski rad, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka 1997.
- [2] J. Nurmi, A machinery fit for cost-effective ship design, First International Conference on Diesel Electric Propulsion, Alesund 1996.
- [3] M. Kanerva, Development of passenger cruise ship for the next century, based on conceptual thinking and gas turbine machinery, The Institute of Marine Engineers, London 1999.
- [4] M. Kanerva - J. Nurmi, Innovative diesel-electric powered tanker experience and future, Seatrade Tanker Industry Convention, London, 1998.
- [5] A. Bukša, Dizel-motorni porivni sustavi, Zbornik radova pomorskog fakulteta, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka 1998., str. 151. - 157.

Summary

GAS TURBINES AND COMBINED POWER PLANT SYSTEMS

Due to the built-in power, the low-speed two-stroke diesel engines on one side, and, due to the number of built-in units, the medium-speed four-stroke diesel engines on the other side, are predominantly in use in the shipbuilding industry. Heat turbines appear in a very low "rate" on the power plant market. The paper aims at giving a survey of the ship power plant systems. A special analysis is made of the electric propulsion connected with the gas turbines or combined power plant systems. The advantages and disadvantages of such a propulsion are pointed out and the tendency of building-in different power plant systems is anticipated.