

Dr. sc. **Enco Tireli**, izv. profesor
Pomorski fakultet
Studentska 2, 51000 Rijeka
Josip Orović, dipl. inž.
Pomorski fakultet
Studentska ulica 2, 51000 Rijeka

ANALIZA KVAROVA BRODSKIH PORIVNIH SUSTAVA

Sažetak

U ovom je članku analiza kvarova, koja sumira i prikazuje više od 1.500 slučajeva kvarova, ograničena na dizelske motore i plinske turbine u pomorstvu i podijeljena je u četiri grupe porivnih sustava: sporohodni dvotaktni dizelski motori koji se koriste za propulziju većih brodova, srednjohodni četverotaktni dizelski motori koji se koriste kao pomoćni strojevi na većim brodovima ili kao glavni motori za propulziju na manjim brodovima, brzohodni dizelski motori koji se koriste za propulziju brzih brodova i plinske turbine koje se koriste za propulziju brzih brodova. Svrha analize učestalosti kvarova i njihovih uzroka, kod brodskih porivnih sustava je da se učine značajni pomaci u otklanjanju upravo onih najzastupljenijih uzroka kvarova kao što su pregrijavanje košuljice motora, nepravilno sastavljanje donjeg ležaja ojnice i osovine motora, hlađenje lopatica i sapnica kod plinskih turbina, nepravilni tretman ulja za podmazivanje te kvaliteta goriva i maziva.

Ključne riječi: porivni sustav, kvarovi, dizelski motor, plinska turbina

1. Uvod

Proizvođači porivnih sustava, ugradnjom njihove opreme i uspješnim preuzimanjem nakon garantnih ispitivanja, ne mogu biti odgovorni za način na koji se ona održava. Konkurencija između proizvođača opreme u biti je poželjna, ali može dovesti i do toga da proizvođači daju izjave oko karakteristika njihovog proizvoda koje se ne smiju uvijek uzimati kao sigurne. Najbolji primjer je gradnja brzih trajekata, gdje kvarovi porivnog sustava čine gotovo 80 posto svih nepoželjnih prekida raspoloživosti porivnog sustava. Korisnici koji održavaju i popravljaju takvu

ugrađenu opremu konstantno imaju probleme s postupcima ili operacijama u korištenju, utvrđuju da su uzroci većinom proizašli zbog neuvažavanja povratnih informacija o kvarovima i štetama na opremi.

Iskustvom je potvrđeno da je, ukoliko je neki dio opreme sklon kvarovima u određenim uvjetima, lakše ponekad obaviti konstrukcijske izmjene koje povećavaju raspoloživost nego poboljšavati uvjete korištenja.

U ovom je članku analiza kvarova, koja sumira i prikazuje više od 1.500 slučajeva kvarova, ograničena na dizelske motore i plinske turbine u pomorstvu i podijeljena je u četiri grupe porivnih sustava:

- **sporohodni dvotaktni dizelski motori** koji se koriste za propulziju većih brodova,
- **srednjohodni četverotaktni dizelski motori** koji se koriste kao pomoćni strojevi na većim brodovima ili kao glavni motori za propulziju na manjim brodovima,
- **brzohodni dizelski motori** koji se koriste za propulziju brzih brodova,
- **plinske turbine** koje se koriste za propulziju brzih brodova.

Baza podataka ove analize su znanstvenoistraživački projekti Pomorskog fakulteta u Rijeci (1) i (2), te The RTS Machinery Failure Database (3). Oko 700 analiziranih kvarova odnosi se na sporohodne dvotaktne dizelske motore, na srednjohodne četverotaktne dizelske motore oko 350, na brzohodne dizelske motore oko 200, dok na plinske turbine oko 250.

U nastavku se daje prikaz analize kvarova za četiri dominantne grupe porivnih sustava.

2. Sporohodni dvotaktni dizelski motori

Kao najzastupljeniji porivni stroj u pomorstvu koristi se sporohodni dvotaktni dizelski motor. Upotrebom teškog ostatnog goriva taj porivni stroj je još uvijek najekonomičniji i u skoroj budućnosti će i dalje imati vodeću ulogu. Najzastupljeniji kvarovi su sljedeći:

Tablica 1.

Područje kvara	Učestalost kvarova
Košuljica motora	24
Klip	17
Razvodna osovina / oprema	14
Glava stubline	8
Križna glava	8
Konstrukcija motora	8
Ležajevi	7
Osovina motora	4
Oprema za ubrizgavanje goriva	4
Zupčanici	3
Spojke / prigušivač	2
Ispušni ventili	1
Ukupno	100 %

Izvor: Utjecaj zahtjeva zaštite okoliša na energetske sustave broda (1)

Kod sporohodnih dvotaktnih motora najučestalije područje kvara je košuljica motora. To redovito uključuje preveliko trošenje i/ili pucanje u gornjem dijelu košuljice motora.

Ispitivanje različitih uzroka daje sljedeće rezultate:

Tablica 2.

Uzrok kvara košuljice motora	Učestalost kvarova
Pregrijavanje / slabo hlađenje	22
Slaba kvaliteta goriva	16
Neadekvatno podmazivanje	15
Neppravilno ubrizgavanje / vrijeme	13
Pucanje prstena / istrošenje	11
Preopterećenje	9
Greška u izvedbi	6
Korozivno istrošenje	2
Neppravilno sastavljanje	2
Vibracije	2
Nepoznato	2
Ukupno	100 %

Izvor: Utjecaj zahtjeva zaštite okoliša na energetske sustave broda (1)

Nekvalitetno gorivo i njegov tretman prije upotrebe još uvijek mnogo utječe na kvarove, što je velika šteta, jer bi trebalo prepoznati i spriječiti njegove posljedice, koristeći raspoloživu uslugu analize goriva.

Nedostatak podmazivanja drugi je uzrok koji se može spriječiti pravilnim kontroliranjem gradacije i potrošnje cilindarskog ulja za podmazivanje.

3. Srednjohodni četverotaktni dizelski motori

Ovi motori koriste se kao pomoćni strojevi na većim brodovima ili kao glavni motori za propulziju na manjim brodovima, a najučestaliji kvarovi i uzroci prikazani su u tablici 3. i 4.:

Tablica 3.

Područje kvara	Učestalost kvarova
Osovina motora / ležajevi	69
Klip	8
Blok / temeljna ploča	6
Ojnica	5
Spojka / kopča	4
Crpka goriva / ventili	2
Košuljica motora	2
Nepoznato	4
Ukupno	100 %

Izvor: *Utjecaj zahtjeva zaštite okoliša na energetske sustave broda (1)*

Kod srednjohodnih četverotaktnih brodskih motora najučestalije područje kvara je osovina motora / ležajevi, koje obuhvaća glavne i leteće ležajeve s njihovim pripadajućim rukavcima i osnacima na osovini motora.

Kvar spomenutih ležajeva i odgovarajuća šteta osovine motora nastaje primarno zbog uzroka prikazanih u Tablici 4.:

Tablica 4.

Uzrok kvara osovine motora /ležajeva	Učestalost kvarova
Nepravilno sastavljanje donjeg ležaja ojnice	35
Nedovoljan tlak ulja za podmazivanje	15
Onečišćeno ulje za podmazivanje	14
Istrošenje / ovalnost	10
Zamor vijka donjeg ležaja ojnice	10
Pregrijavanje motora	6
Tvornička greška vijka	4
Slaba kvaliteta popravka	4
Nepoznato	2
Ukupno	100 %

Izvor: Utjecaj zahtjeva zaštite okoliša na energetske sustave broda (1)

Nepravilno sastavljanje obično je vezano za montažu vijaka donjeg ležaja ojnice. Postupci pritezanja i osiguravanja vijka uveliko variraju od motora do motora i često zahtijevaju specijalni alat. Zajedno s nedovoljnim pristupom, skučenom i teškom radnom okolinom, pogotovo ako je brod u plovidbi, nije iznenađujuće da je učestalost krivog sastavljanja tako velika.

Mnogo bi se pomoglo u sprječavanju kvarova kad bi se cijela operacija stezanja i osiguravanja donjeg dijela ležaja ojnice mogla izvesti jednostavnije i pouzdanije.

4. Brzohodni dizelski motori

Tablica 5.

Područje kvara	Učestalost kvarova
Osovina motora / ležajevi	81
Klip /košuljica motora	8
Ventili glave motora	6
Nepoznato	5
Ukupno	100 %

Izvor: The RTS Machinery Failure Database (3)

Kod brzohodnih brodskih motora učestalost kvarova ležajeva osovine motora povećava se u odnosu na srednjehodni dizelski motor. Kako su se brzina i odnos snage i težine povećali tako su osovina motora i ležajevi postali podložniji kvarovima.

Kategorizacija kvarova osovine motora/ležaja prikazana je u Tablici 6.:

Tablica 6.

Uzrok kvara osovine motora / ležajeva	Učestalost kvarova
Onečišćeno ulje za podmazivanje	48
Toplinsko preopterećenje	10
Neppravilno sastavljanje	6
Vijak protuutega	4
Pogreška u izvedbi	4
Niski tlak ulja	4
Tvornička greška	3
Slaba kvaliteta popravka	3
Istrošenje / ovalnost	3
Nepoznato	15
Ukupno	100 %

Izvor: *The RTS Machinery Failure Database (3)*

Onečišćenje ulja za podmazivanje postalo je prevladavajući uzrok svih kvarova, dok se nepravilno sastavljanje, koje je u velikoj mjeri zastupljeno kod srednjehodnih motora, daleko manje pojavljuje kao uzrok kvarova.

Motorni većih brzina vrtnje su osjetljiviji i zahtjevniji na ulja za podmazivanje. U mnogo slučajeva, i uz samo malu količinu onečišćenja izaziva se kvar. To ne mora uvijek biti onečišćenje iz vanjskog izvora. Ponekad je uzrok to što je ulje predugo bilo u motoru ili s prevelikom intervalom izmjene ulja.

Raspoloživost porivnog sustava može se značajno povećati ako se tretman ulja za podmazivanje provodi po proceduri i potrebnoj pažnji. Tradicionalno uzimanje uzorka ulja u pravilnim intervalima ne prepoznaje onečišćenje i starenje na vrijeme. U budućnosti bit će neophodno imati i bolje postupke i opremu za utvrđivanje stanja ulja za podmazivanje (misli se na sastav nečistoća u ulju i stanje kiselosti u ulju) kao i sustavi filtracije za odstranjivanje i finijih čestica u ulju.

Nastupanje kvarova zbog nepravilnog sastavljanja se znatno smanjilo, uvelike zbog toga što se veliki radovi održavanja izvode na kontrolirani način kad je brod izvan službe, a kod manjih motora i u specijaliziranim servisima.

Učestalost kvarova – za koje su uzroci nepoznati – povećali su se uglavnom zbog katastrofalne prirode nekih kvarova i posljedičnu teškoću u identificiranju što se zapravo dogodilo i što ih je izazvalo. Budućnost otklanjanja takvih uzroka bit će

moгуća tek kad se ugradi informatička oprema s memoriranjem i mogućim ispisom u kraćim vremenskim intervalima (ms).

5. Plinske turbine

Brodске plinske turbine mnogo su zahtjevniji porivni sustavi, ali i sigurniji od dizelskih motora. Kod plinskih se turbina neminovno mora tretirati pogonsko gorivo i usisni zrak. S obzirom da se nastoji koristiti slično pogonsko gorivo kao i za dvotaktne dizelske motore radi smanjenja pogonskih troškova, opasnost zbog visokotemperaturne korozije naglo se povećava sa sadržajem vanadija i sumpora u gorivu. Zato je dominantni uzrok kvarova upravo lopatični i sapnični niz na turbinском dijelu porivnog sustava. U Tablici 7. vidi se posljedica takvog stanja.

Tablica 7.

Područje kvara	Učestalost kvarova
Rotorske lopatice	69
Statorske sapnice	16
Rotor	10
Unutrašnji premazi	5
Ukupno	100 %

Izvor: *Prihvatljivost porivnog sustava po energiji, sigurnosti, ekologiji i održavanju (2)*

Rotorske lopatice odnose se na sve lopatice na kompresoru i turbini (pogonski dio i generatorski dio). Područje rotorskih lopatica najučestalije je područje kvarova i to:

Tablica 8.

Uzrok kvara rotorskih lopatica	Učestalost kvarova
Kvar zbog stranog tijela	42
Toplinska degradacija / slabo izgaranje	14
Zamor / toplinski zamor	13
Nepravilno sastavljanje	9
Materijal / tvornička greška	5
Prljavština / nedostatak čišćenja	4
Nepoznato	13
Ukupno	100 %

Izvor: *Prihvatljivost porivnog sustava po energiji, sigurnosti, ekologiji i održavanju (2)*

Usprkos uporabi filtera, često se malo pažnje poklanja filtraciji usisnog zraka (sadržaj soli u usisnom zraku) i “pranju” korištenog goriva, što su svakako dominantni uzroci kvarova i raspoloživosti porivnog sustava.

S obzirom da kvarovi lopatica i sapnica plinskih turbina čine 85% svih kvarova i da je budućnost plinskih turbina uvjetovana korištenjem sličnog goriva kao i za brodske sporohodne dizelske motore, proizvođači su započeli s radikalnim izmjenama u izvedbi lopatica i sapnica (4). Najnovije izvedbe brodskih plinskih turbina (Super Marine Gas Turbine- SMGT) radikalno smanjuju uzroke kvarova lopatica i sapnica plinskih turbina hlađenjem sapnica i lopatica kroz njihovu unutrašnjost – vodom ili zrakom (5).

6. Zaključak

Iz analize učestalosti kvarova i njihovih uzroka, kod brodskih plinskih turbina, uočeni su značajni pomaci u otklanjanju upravo onih najzastupljenijih uzroka kvarova kao što su hlađenje lopatica i sapnica, nepravilni tretman ulja za podmazivanje i goriva te kvaliteta goriva i maziva.

Tehnološki razvoj omogućuje sve širu primjenu plinskih turbina. Nove legure, unutarnje hlađenje lopatica i sapnica te toplinski premazi povećavaju toplinsku izdržljivost i stupanj djelovanja plinske turbine tako da ugrožavaju visoku učestalost dizel motornog poriva broda. U prilog plinskih turbina idu i sve stroži zakoni o očuvanju okoliša i smanjivanju emisije štetnih plinova. Ako se tome doda i manja masa po instaliranoj snazi te lakše održavanje, jasno je zašto se sve češće koriste na brodovima. Kada se uzmu u obzir najave proizvođača o novim, boljim i štedljivim plinskim turbinama, već u skoroj budućnosti plinske turbine imat će mnogo veći udio kao porivni strojevi.

Literatura:

1. Znanstvenoistraživački projekt Pomorskog fakulteta u Rijeci: *Utjecaj zahtjeva zaštite okoliša na energetske sustave broda* (Voditelj: Red. prof. dr. sc. D. Martinović s 15 suradnika)
2. Znanstvenoistraživački projekt Pomorskog fakulteta u Rijeci: *Prihvatljivost porivnog sustava po energiji, sigurnosti, ekologiji i održavanju* (Voditelj: Izv. prof. dr. sc. E. Tireli sa 16 suradnika)
3. *The RTS Machinery Failure Database*
4. E. Tireli, D. Martinović: *Nova generacija brodskih plinskih turbina u zamjenu za brodske sporohodne dizelske motore*, Pomorstvo god. 16 (2002) str. 77-82
5. E. Tireli, D. Martinović: *A new ship's Gas Turbine Generation in Exchange for the low-speed Ship's Diesel Engine*; 5th International Conference on Traffic Science; Venezia-Patras; 27-30 october 2001 pp.304-308
6. J. Woodward: *Marine gas turbines*, New York, 1975.
7. M. J. Roemer, and D. M. Ghiocel, *A Probabilistic Approach to the Diagnosis of Gas Turbine Engine Faults* 53rd Machinery Prevention Technologies (MFPT) Conference, Virginia Beach, VA, April 1999

Enco Tireli
Josip Orović

ANALYSIS OF DEFECTS OCCURRING IN VESSELS' PROPULSION SYSTEM

Summary

The analysis of defects this paper deals with, which has summarized and presented more than 1,500 cases, has been restricted to diesel engines and gas turbines applied in the maritime industry, comprising four groups of propulsion systems: low-speed two-stroke diesel engines applicable in large-sized vessels, medium-speed four-stroke diesel engines applicable both as the auxiliary machinery in large-sized vessels or as main engines in smaller vessels, high-speed diesel engines applicable as the propulsion machinery in fast vessels, and gas turbines applicable as the propulsion machinery in fast vessels. The purpose of the analysis dealing with the occurrence rate and cause of defects relating to vessels' propulsion systems is to stimulate a significant step forward in eliminating the most frequent defects such as the overheating of the lining, inappropriate assembly of the lower connecting-rod bearing and engine shaft, cooling of gas turbine blades and nozzles, incorrect treatment of lubricating oil, as well as the quality rate of fuel and lubricants.

Key words: propulsion system, defects, diesel engine, gas turbine

ANALISI DELLE AVARIE AGLI APPARATI MOTORE MARINI

Sommario

L'articolo esamina le avarie ai motori marini diesel e alle turbine a gas presentando un sommario di oltre 1500 casi di avaria agli apparati motore suddivisi in quattro gruppi: motori diesel lenti a due tempi adibiti alla propulsione di navi di maggior stazza, motori diesel di velocità media a quattro tempi usati come ausiliari su navi maggiori o come apparato motore per la propulsione di navi di minor stazza, motori diesel veloci adibiti alla propulsione di navi rapide e, per ultimo, turbine a gas impiegate per la propulsione di navi di alta velocità.

L'analisi della frequenza del tipo di avaria agli apparati motori marini è stata intrapresa allo scopo di evidenziare le cause più comuni della loro origine e che risultano essere il surriscaldamento delle camicie dei motori, l'incorretto montaggio del cuscinetto di testa della biella ed dell'albero motore, il raffreddamento delle palette e degli ugelli delle turbine a gas, l'improprio trattamento dell'olio lubrificante e la qualità del carburante e dei lubrificanti.

Parole chiave: apparato motore, avarie, motore diesel, turbina a gas

