

Dr. sc. Ante Bukša
Dr. sc. Dragan Martinović
Milan Vidaković, student
Sveučilište u Rijeci
Pomorski fakultet u Rijeci
Studentska 2
51000 Rijeka

Pregledni članak

UDK:629.5.03

621.436

Primljeno: 4. rujna 2009.

Odobreno: 7. listopada 2009.

ANALIZA KVAROVA DIZELSKOG MOTORA BRODSKOG PORIVNOG SUSTAVA

Iz dnevnika stroja za istraživanje korišteni su izvorni operativni podaci o kvarovima i akciji održavanja kod prekida operacije dizelskog motora (porivnog stroja) za vrijeme plovidbe (tijekom dvadeset i četiri sata) u razdoblju od trinaest godina. Analizom zastoja (evidentiranih ciklusa kvarova) definiraju se značajne komponente koje se najviše kvare u eksploataciji. Tu spadaju ispušni ventil, rasprskič i pumpa goriva. Najugroženija komponenta porivnog sustava (dizelskog motora) je ispušni ventil s najvećom stopom kvara. Autori predlažu da bi se povećala operativnost i sigurnost plovidbe brodom potrebno je smanjiti učinak kvara značajnih komponenata broskog pogona, koje se najviše kvare u eksploataciji. To se postiže izborom kvalitetnije komponente i boljim održavanjem, tj. podešavanjem koncepta održavanja.

***Ključne riječi:** porivni sustavi, dizelski motor, analiza kvarova, značajne komponente, ispušni ventil, održavanje*

1. UVOD

Brodovi koji su dizajnirani i izgrađeni da bi zadovoljili klasifikacijska pravila posjeduju prihvatljivu razinu pouzdanosti za sigurnu plovidbu. Neplanirani zastoji i havarije, koji mogu nastati uslijed neodgovarajućeg održavanja, mogu stvoriti dodatne troškove (brodovi su izvan operacije određeno vrijeme). Svaki sat zastoja brodovlasniku nosi velike troškove, a zadatak stručnjaka održavanja je učiniti sve da do neočekivanog zastoja ne dođe ili da se vrijeme zastoja smanji. Pošto se gubitak poriva čak i za kratko vrijeme ne smije tolerirati, brodovlasnici koriste rigorozniji redundantni dizajn da bi povećali operativnost i sigurnost plovidbe brodom. Uzroci nastajanja kvarova uglavnom mogu

biti: konstrukcijski (direktne greške konstruktora), proizvodni (greške u izradi i montaži) i eksploatacijski. U [1][2] prikazana je opća podjela kvarova u ovisnosti od karaktera tipičnih uzroka za tehničke sustave, koji se mogu primijeniti i za brodske dizelske motore. Postoji više kriterija na osnovi kojih se mogu klasificirati kvarovi dizelskog motora. Kriterij za klasifikaciju može biti uzrok nastajanja kvara, intenzitet, veza s drugim kvarovima (zavisni ili nezavisni kvar), itd. Slučajni kvarovi dizelskog motora, koji se pojavljuju tijekom eksploatacije, pokazuju da je potrebno kombinirati različite pristupe održavanja, jer koncepcija održavanja po vremenu ne predstavlja najdjelotvorniji način održavanja.

2. REZULTATI ANALIZE KVAROVA DIZELSKOG MOTORA

Istraživanje se temelji na izvornim podacima iz dnevnih izvještaja dizelskog motora u razdoblju od trinaest godina [3]. Porivni stroj je dizelski motor tipa MAN 7L 400/500 (tvornički broj 603109) snage $\cong 2.200$ kW (3.000 KS), promjera cilindra 400 mm, broja cilindara 7, hoda klipa 540 mm i brzine vrtnje 430 min^{-1} . Dizelski motor ugrađen je u porivni sustav s reduktorom tipa Renk i prijenosnim omjerom $i = 430/185 \cong 2,3$. Dnevni izvještaji dizelskog motora upisuju se u dnevnik stroja [4], koji se vodi svaki dan od 00 do 24 sata za vrijeme putovanja i za vrijeme boravka u luci. Za ovo istraživanje obradilo se $\cong 9360$ stranica dnevnika stroja kroz trinaest godina rada. Podaci o manevriranju i putovanju uzimaju se iz tablice II. dnevnika stroja, a podaci o radu motora iz tablice VI. U rubriku "Bilješke" unose se podaci o kvarovima i intervenciji održavanja s detaljnim opisom i eventualnom skicom, kao i trajanje zastoja.

Kod upisivanja tekstualnih informacija o ponašanju pogona, odgovornost je na operateru jer vrlo često koristi „pravilo palca“ koje se temelji na praktičnom iskustvu. Iako sadržaji zabilješki moraju biti jasno definirani, podaci su ponekad subjektivni s obzirom da sadržaj reflektira subjektivnu percepciju o važnosti akcije u trenutku bilježenja.

Podaci iz tablice 1 obuhvaćaju 61.600 radnih sati porivnog stroja u razdoblju od trinaest godina. Ako se ova vrijednost radnih sati podijeli s brojem godina, dobije se prosječni broj radnih sati godišnje ili prosječna stopa upotrebe od $\lambda_u = 4.700$ sati/godini. To znači da je očekivani vijek za 20 godina 94.000 sati.

Ukupno vrijeme zastoja, prekida operacije porivnog stroja, u razdoblju od trinaest godina bilo je $t_k \approx 386$ sati (Tablica 1). To je prosječno 2,4 sata po zastoju. Iz istraživanja proizlazi da najviše zamjena ima rasprskać s prosječnim vremenom zamjene od $\approx 0,5$ sati, zatim ispušni ventil s prosječnim vremenom zamjene od $\approx 2,5$ sati.

Tablica 1. Prikaz vremena rada i stajanja dizelskog motora
Table 1. Survey of the diesel engine operation and breakdown

Interval	Godina	RAD PORIVNOG STROJA				Vrijeme u luci t_{ul} [sati]	Vrijeme remonta i preventivnog održavanja pogona t_r [sati]	Vrijeme zastoja t_k [sati]
		U lučkoj manovri t_{lm} [sati]	U morskoj manovri t_{mm} [sati]	U plovidbi t_p [sati]	Ukupno vrijeme u operaciji t_{ouk} [sati]			
		1.	1982	93,75	221,28			
2.	1983	125,58	375,88	5191,48	5692,94	1524,4	1420	2,66
3.	1984	120,5	100,24	4357,32	4578,06	3698,82	360	3,12
4.	1985	128,88	86,18	3781,08	3996,14	3942	672	29,86
5.	1986	109,95	163,96	3878,15	4151,61	3786	672	30
6.	1987	83,05	37,21	3456	3576,26	4282,16	762	19,58
7.	1988	138,97	10,32	3932,02	4081,31	3583,19	964	11,5
8.	1989	161,15	55,25	4318,91	4532,66	3014,68	1056	36,66
9.	1990	194,7	129,2	5190,31	5514,21	2212,59	888	25,2
10.	1991	196,3	48,78	4903,57	5148,65	2687,29	768	36,06
11.	1992	138,91	108,91	4954,37	5202,19	2709,86	686	41,95
12.	1993	161,9	108,5	3296,3	3566,7	3929,3	1080	64
13.	1994	94,85	44,7	4740,5	4880,05	3097,91	624	38,04

Tablica 2. Raspodjela pojave kvarova porivnog stroja
Table 2. Division of the propulsion engine failure occurrences

Interval	N ($t_k \leq 2h$)	N ($2h < t_k < 5h$)	N ($t_k \geq 5h$)	N_{uk}
1.	5	7	1	13
2.	1	1	-	2
3.	6	-	-	6
4.	7	2	-	9
5.	11	2	1	14
6.	-	3	1	4
7.	3	1	1	5
8.	3	4	2	9
9.	11	4	-	15
10.	4	9	1	14
11.	16	3	2	21
12.	9	13	2	24
13.	12	7	-	19
	Σ 88	Σ 56	Σ 11	Σ 155

Slučajni kvarovi porivnog stroja razlikuju se po duljini zastoja, a podijeljeni su u tri skupine: prvu skupinu čine kvarovi koji uzrokuju zastoj od $t_k \leq 2h$, drugu skupinu čine kvarovi koji uzrokuju zastoj od $2h < t_k < 5h$, a treću skupinu čine kvarovi koji uzrokuju zastoj od $t_k \geq 5h$ (Tablica 2).

Iz broskog dnevnika unose se podaci o intervalu, datumu, broju sati pogonskog stroja, dužini zastoja i opisu kvara. U opis kvarova potrebno je upisati broj cilindra i točno vrijeme zastoja. Analizom podataka identificiraju se značajne komponente i sustavi.

Podaci za komponente svrstani su po broju radnih sati pogonskog stroja. Upisuje se komponenta (sustav), cilindar, broj sati rada porivnog stroja, stanje i opis kvara.

Podaci za komponente i sustave svrstani su po cilindru (počevši od prvog do sedmog) i broju sati rada porivnog stroja.

Legenda za slaganje eksploatacijskih podataka porivnog stroja prikazana je u donjoj tablici.

Komponenta	Identifikacija značajnih komponenta stroja iz eksploatacijskih podataka.
Cilindar	Cilindar na koji je izvršena akcija održavanja zbog kvara ili preventivne zamjene.
DM sati	Radni sati porivnog stroja u trenutku kvara ili akcije održavanja.
Stanje	Npr. talozi, izgorio krmeni, .., ili stoji "—" u dnevniku stroja nije upisano stanje ili je komponenta zamijenjena iz preventivnih razloga.
Opis	Kratki opis kvara ili akcije održavanja.

Tablica 3. Eksploatacijski podaci za rasprskič i ispušni ventil
Table 3. Exploitation data for the injection valve and exhaust valve

RASPRSKAČ					ISPUŠNI VENTIL				
N_k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis	N_k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis
1	1	30671	-	Zamjena	1	2	32800	-	Zamjena
2	3	32813	-	Zamjena	2	3	32813	erozija	Demontaža ispušnih ventila, brušenje sjedišta ventila i ponovna montaža uz regulaciju zračnosti
3	4	-	-	Zamjena	3	4			
4	6	33280	-	Zamjena	4	6	33280	-	Zamjena
5	3	33575	-	Zamjena	5	3	33575	-	Zamjena
6	7	34695	-	Zamjena	6	6	35689	pregorio krmeni	Zamjena i regulacija zračnosti

RASPRSKAČ					ISPUŠNI VENTIL				
N _k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis	N _k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis
7	1	35667	-	Zamjena	7	1	47248	talozi	Čišćenje kućišta i ponovna montaža
8	3	-	-	Zamjena	8	2	52898	neispravno	Zamjena Puknuće pladnja, brušenje baze i montirani rezervni ventili.
9	1	42697	-	Zamjena	9	1	54480	neispravno	Zamjena
10	4	43235	-	Zamjena	10	6	54541	neispravno	Zamjena Puknuće pladnja, brušenje baze i montirani rezervni ventili
11	6	43381	-	Zamjena	11	3	55140	neispravno	Zamjena Puknuće pladnja, brušenje baze i montirani rezervni ventili
12	1	45971	-	Zamjena	12	6	62037	pregoren	Zamjena
13	1	47203	-	Zamjena	13	4	62056	izgoren krmeni	Zamjena
14	1	47216	-	Zamjena	14	2	62405	izgoren pramčani	Zamjena
15	1	47248	-	Zamjena	15	5	62606	neispravno	Zamjena Polomljen pladanj
16	-	49798	-	Zamjena	16	4	64019	izgoren pramčani	Zamjena
17	4	50064	-	Zamjena	17	3	64529	-	Zamjena
18	1	50813	-	Zamjena	18	4	65958	-	Zamjena
19	1	52512	-	Zamjena	19	3	66927	-	Zamjena
20	5	-	-		20	5	67188	propuštanje	Zamjena
21	7	52607	-	Zamjena	21	3	67714	izgoren krmeni	Zamjena
22	2	52898	-	Zamjena	22	5	69838	krmeni izgorio	Zamjena
23	4	-	-		23	7	69936	-	Zamjena
24	1	54480	-	Zamjena novim	24	7	72075	izgoreni	Zamjena
25	6	54541	-	Zamjena	25	2	72618	izgoren pramčani	Zamjena
26	3	55140	-	Zamjena	26	5	72720	-	Zamjena
27	5	58695	-	Zamjena	27	4	72736	propuštanje	Zamjena
28	1	59573	-	Zamjena	28	2	73393	puknuće	Zamjena
29	3	60695	-	Zamjena	29	4	73991	-	Zamjena
30	5	-	-		30	5	-	-	
31	5	61403	-	Zamjena	31	7	74305	-	Zamjena
32	6	62037	-	Zamjena	32	1	74760	-	Zamjena
33	4	64019	-	Zamjena	33	5	74714	-	Zamjena
34	5	-	-	Zamjena	34	3	75229	-	Zamjena
35	7	65218	-	Zamjena	35	2	75442	-	Zamjena

RASPRSKAČ					ISPUŠNI VENTIL				
N _k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis	N _k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis
36	4	65958	-	Zamjena	36	7	-	-	
37	3	66811	neispravno	Zamjena	37	5	77077	izgoren pramčani	Zamjena
38	3	66927	-	Zamjena	38	2	78352	izgorio krmeni	Zamjena
39	5	67211	-	Zamjena	39	3	78413	-	Zamjena
40	5	67714	neispravno	Zamjena zbog puknuća opruge nepovratnog ventila	40	6	-	-	
41	5	68536	-	Zamjena	41	7	79933	-	Zamjena
42	1	70134	-	Zamjena	42	1	79979	-	Zamjena
43	6	70770	-	Zamjena	43	3	80025	-	Zamjena
44	5	72722	-	Zamjena	44	2	80798	-	Zamjena
45	4	72736	-	Zamjena	45	5	81802	izgoren pramčani	Zamjena
46	5	74714	-	Zamjena	46	4	81932	izgoren krmeni	Zamjena
47	3	75229	-	Zamjena	47	3	82382	izgoren krmeni	Zamjena
48	7	75442	-	Zamjena	48	2	82647	izgoren pramčani	Zamjena
49	6	78413	-	Zamjena	49	6	82755	izgoren pramčani	Zamjena, pramčani novi-original izgorio
50	4	78930	-	Zamjena	50	2	84054	izgoren pramčani	Zamjena
51	5	-	-		51	5	84120	-	Zamjena
52	2	80798	-	Zamjena	52	4	-	izgoren krmeni	Zamjena
53	4	-	-		53	3	85469	izgoren pramčani	Zamjena
54	6	80845	-	Zamjena	54	1	85541	-	Zamjena
55	3	81672	-	Zamjena	55	6	86649	-	Zamjena
56	2	82128	-	Zamjena	56	2	86944	-	Zamjena
57	5	-	-		57	6	87655	-	Zamjena
58	3	82382	-	Zamjena	58	1	88159	-	Zamjena
59	3	82539	-	Zamjena	59	7	-	-	Zamjena
60	3	82714	neispravno	blokiran	60	4	88183	neispravno	Zbog propuštanja vode u cilindru zamijenjen ispušni ventil.
61	3	82861	neispravno	Zamjena	61	6	88589	-	Zamjena
62	5	84120	-	Zamjena	62	7	89501	-	Zamjena
63	2	86125	-	Zamjena					
64	1	88022	-	Zamjena					
65	6	88669	-	Zamjena					

Tablica 4. Eksploatacijski podaci za pumpu goriva, usisni ventil i spoja glava-blok
Table 4. Exploitation data for the fuel pump, the inlet valve and junction head-block

PUMPA GORIVA					USISNI VENTIL				
N _k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis	N _k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis
1	3	32833	-	Zamjena	1	7	34493	neispravno	Zamjena radi puknuća usisnog krmenog ventila
2	1	47216	neispravno	Zamjena	2	7	34695	izgorio pramčani	Zamjena
3	3	48134	propuštanje	Zamjena	3	2	49234	izgorio krmeni	Zamjena
4	4	50064	neispravno	Zamjena - propuštanje goriva na poklopecu	4	3	55140	-	Zamjena
5	1	51483	-	Zamjena visokotlačne cijevi	5	7	72075	-	Zamjena
6	1	52512	-	Zamjena visokotlačne cijevi	6	2	72618	-	Zamjena
7	5	-	-	Zamjena visokotlačne cijevi	7	4	72736	-	Zamjena
8	4	57131	-	Zamjena visokotlačne cijevi	8	2	73393	-	Zamjena
9	5	61403	propuštanje	Visokotlačna cijev	9	3	75299	-	Zamjena
10	3	61525	propuštanje	Zamjena	10	1	79979	-	Zamjena
11	5	62037	neispravno	Zamjena	11	3	80025	-	Zamjena
12	3	64529	-	Zamjena visokotlačne cijevi	12	2	80798	-	Zamjena
13	3	66927	-	Zamjena	13	2	86944	-	Zamjena
14	1	70134	-	Zamjena visokotlačne cijevi	14	6	87655	-	Zamjena
15	3	72446	propuštanje	Zamjena visokotlačne cijevi	15	7	90113	-	Zamjena
16	-	76520	neispravno	Zamjena čepa	GLAVA - BLOK				
17	4	78930	-	Zamjena visokotlačne cijevi	1	2	37827	propuštanje	Otklonjeno propuštanje na prijelazu blok-glava. Otklonjeno propuštanje na ispušnom kolektoru cilindra br.1.
18	5	-	-		2	1	40382	propuštanje	
19	1	79979	neispravno	Udar na pločicu pronađena puknuta i zamijenjena novom.	3	4	48282	neispravno	Izmijenjena brtva na diletacionom spoju.

PUMPA GORIVA					USISNI VENTIL				
N _k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis	N _k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis
20	5	81932	neispravno	Demontaža, kontrola, izmijenjena podizna pločica	4	2 i 7	53307	neispravno	Puknuće ispušnog cjevovoda zajedničkog izlaza cilindra br. 2 i 7. Puknuće zavareno.
21	3	82539	neispravno	Zamjena visokotlačne cijevi	5	5	62606	neispravno	Izmjena glave na cilindru
22	3	86649	neispravno	Zamjena udarne pločice	6	5	74604	neispravno	Puknuto osiguranje klackalice
23	7	87758	propuštanje	Otklonjeno propuštanje goriva	7	5	74714	neispravno	Zamjena nosača klackalice
24	3	88712	propuštanje	Pritezanje spojeva VT sisaljke radi propuštanja	8	4	76304	propuštanje	Na brtvi između glave i ispušnog kolektora

Tablica 5. Eksploatacijski podaci sustava podmazivanja i sustava hlađenja
Table 5. Exploitation data for the lubrication and cooling system

SUSTAV PODMAZIVANJA					SUSTAV HLAĐENJA				
N _k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis	N _k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis
1	-	35667	-	Rastavljena pumpa ulja. Pregled cjevovoda ulja.	1	4	30229	propuštanje	Otklonjeno propuštanje rashladne vode na glavi cilindra
2	2	35689	neispravno	Promijenjen kuglični ležaj i opruga ventila pumpe ulja.	2	6	45246	propuštanje	Izmjena brtve na izlaznoj cijevi rashladne vode.
3	-	45788	propuštanje	Puknuće cijevi podmazivanja TP.	3	2	45431	propuštanje	Puknuće cijevi hlađenja rasprskača.
4	-	47312	neispravno	Pad tlaka – ispuštanje taloga iz filtra.	4	-	53307	neispravno	Zastoj zbog izgaranja namotaja statora pumpe mora elektromotora .
5	1	50813	neispravno	Očišćen filter ulja i nepovratni ventil na sustavu klackalice .	5	3	66811	propuštanje	Otklonjeno propuštanje rashladne vode rasprskača

SUSTAV PODMAZIVANJA					SUSTAV HLAĐENJA				
N _k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis	N _k	Cilindar	DM [sati]	Stanje	Opis
6	-	70068	neispravno	Zbog niskog tlaka ulja za podmazivanje klackalica demontaža i pročišćavanje cjevovoda.	6	1	72736	neispravno	Rashladnik očišćen i propuhane cijevi rasprskaća.
7	-	72446	propuštanje	Propuštanje nafte u sistem podmazivanja klackalica.	7	-	73148	neispravno	Zbog visoke temperature izvađen termostad, blindirana strana by-pass tako da voda ide direktno u rashladnik.
8	-	76256	propuštanje	Puknuće brtve tlačnog cjevovoda pumpe ulja	8	-	73168	neispravno	Začepljenje kamencem cjevovoda (saće) s morske strane.
9	-	77374	neispravno	Demontiran cjevovod ulja podmazivanja klackalica.	9	2	76026	neispravno	Pucanja cijevi za hlađenje rasprskaća.
10	1	81672	neispravno	Skinuta klackalica ispušnog ventila radi odčepjenja kanala za prolaz ulja	10	-	76414	neispravno	Puknuće cijevi rashladne vode TP.
11	2	87031	neispravno	Demontaža sisaljke ulja za podmazivanje klackalica	11	6	79107	neispravno	Izmjena cijevi hlađenja rasprskaća
					12	-	80085	neispravno	Zamjena ulaznog šibera ventila mora.
					13	6	80177	neispravno	Izmjena brtve na cijevi hlađenja ispušnog ventila.
					14	6	80845	neispravno	Izmijenjen dio cijevi za hlađenje rasprskaća.
					15	-	82350	neispravno	Oštećena usisna košara mora.
					16	-	82370	neispravno	Regulator temperature.

U tablicama 3., 4. i 5. prikazani su stvarni podaci komponenata i sustava koje se najviše kvare u eksploataciji. Tu spadaju komponente: rasprskič, ispušni ventil i pumpa goriva (visokotlačna cijev), a od sustava: sustav podmazivanja i sustav goriva. Rasprskič je imao 65 zamjena, zatim ispušni ventil sa 62 zamjene, a pumpa goriva i visokotlačna cijev 24 zamjene.

Zabilješke ispušnog ventila su najkompletnije, iako u nekim zabilješkama nije upisano stanje, već samo zamjena. Procijenjeno je da je izvršena samo preventivna zamjena. Sažetak analize bilježenih komponenata, gdje je ustanovljeno neispravno stanje (funktionalni kvar), prikazan je u tablici 6.

Tablica 6. Sažetak neispravnog stanja komponenata
Table 6. Survey of functional failures of the components

Komponenta	Mehanička Oštećenja
Rasprskič	
Rasprskič – holender za hlađenje	1
Rasprskič – blokiran	1
Rasprskič – loš rad	1
Rasprskič – opruga, neispravan ventil	1
Ukupno	4
Ispušni ventil	
Ispušni ventil – naslage, kućište	1
Ispušni ventil – izgorjen ventil	19
Ispušni ventil – puknuće pladnja	5
Ispušni ventil – oštećen ventil	1
Ispušni ventil – sjedište, erozija	2
Ispušni ventil – probijen, propuštanje	2
Ukupno	30
Uisni ventil	
Uisni ventil – izgorjeni ventil	2
Uisni ventil – oštećeni ventil	1
Ukupno	3
Pumpa goriva	
Pumpa goriva – podizna pločica	3
Pumpa goriva – poklopac, propuštanje goriva	3
Pumpa goriva – zamjena čepa	1
Ukupno	7

Tijekom 61.600 radnih sati DM kod rasprskiča je od ukupno 65 zabilješki zastoja samo u četiri zamjene zabilježeno neispravno stanje, što govori da se rasprskič mijenjao iz preventivnih razloga (pri. na 67.714 sati rada DM ili na 82861 sati rada DM. (Tablica 3).

Od 62 zamjene ispušnih ventila, u paru, zabilježeno je 30 slučajeva stanja u kvaru (izgoren, puknuće, erozija, propuštanje, naslage), što je $\approx 50\%$. Najviše je bilo izgaranja ventila (19), a zatim puknuća pladnja (5) (pri. kod 52.898 sati DM ili 54.541 sati DM). (Tablica 3).

Stopa kvarova λ dobije se ako se broj zastoja zbog neispravnog stanja podijeli s ukupnim radnim satima porivnog stroja u određenom razdoblju. Stopa kvarova spomenutih komponenata prikazana je u tablici 7.

Tablica 7. Stope kvarova značajnih komponenata dizelskog motora
Table 7. Failure rate of the diesel engine significant components

Komponenta	Stopa kvara [sati ⁻¹]
Pumpa goriva	$0,1136 \cdot 10^{-3}$
Rasprskać	$0,0649 \cdot 10^{-3}$
Ispušni ventil	$0,4870 \cdot 10^{-3}$
Usisni ventil	$0,0487 \cdot 10^{-3}$

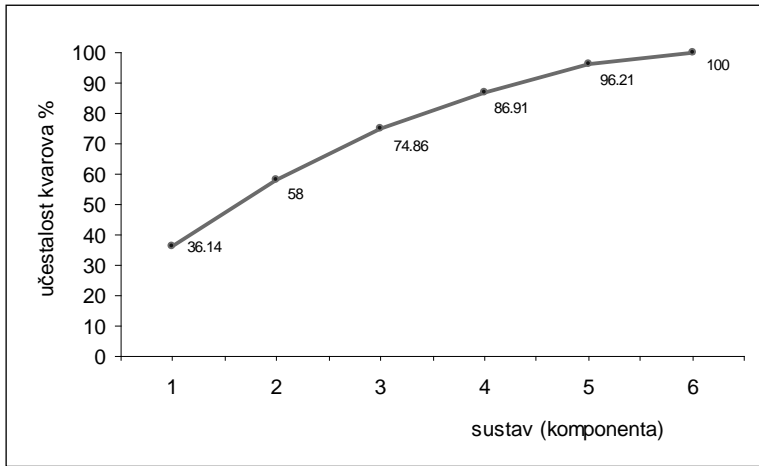
SRIC (Ship Reability Investigation Committee) iz Japana izradio je studiju pouzdanosti porivnih sustava na 231 brodu različitih namjena u trinaestogodišnjem razdoblju [5][6]. Najveća stopa kvara na porivnom stroju bila je $0,4218 \cdot 10^{-3}$ (pumpa goriva, cijevi, ispušni ventil, itd.) dok je u istraživanju stopa kvara pumpe goriva i ispušnog ventila $\lambda = 0,6006 \cdot 10^{-3}$.

Kod velikog broja komponenata u kvaru značajne komponente se rangiraju prema učestalosti kvarova (ABC-analiza) [7], a zatim se definiraju kritična mjesta. U tom slučaju potrebno je odrediti komponente čija kumulativna učestalost kvara iznosi 50%. To su najintezivnije održavane komponente dizelskog motora.

Iz analize učestalosti kvarova sustava i značajnih komponenata proizlazi da je prvi po rangu ispušni ventil, koji je prouzrokovao približno $\approx 36\%$ svih kvarova, a zatim sustav goriva koji je prouzrokovao $\approx 22\%$ kvarova (Tablica 8. i Slika 1). Ustanovljeno je da su komponente i sustavi bili ukupno 83 puta u funkcionalnom kvaru. U istraživanju prema [8] analizirani su kvarovi porivnog stroja primjenom RCM metode (Reliability Centered Maintenance), pri čemu je sustav goriva imao dominantni uzrok pojave kvarova.

Tablica 8. Analiza učestalosti kvarova sustava i značajnih komponenata
Table 8. Analysis of occurrences of the failures system and significant components

Komponenta ili sustav		Učestalost	Kumulativna učestalost	Učestalost %	Kumulativna učestalost %
1.	Ispušni ventil	30	30	36,14	36,14
2.	Sustav goriva	18	48	21,68	58
3.	Sustav hlađenja	14	62	16,86	74,86
4.	Sustav podmazivanja	10	72	12,05	86,91
5.	Glava-blok	8	80	9,30	96,21
6.	Usisni ventil	3	83	3,48	100



Slika 1. Grafički prikaz učestalosti kvarova
Figure 1. Graphic survey of the failures occurrences

Iz istraživanja proizlazi da je najugroženija komponenta dizelskog motora ispušni ventil. On je ujedno najintezivnija održavana komponenta dizelskog motora. Prema preporuci proizvođača svakih 5000 sati rada stroja potrebno je izvršiti održavanje (demontiraj sve ispušne ventile, izvrši remont i ponovo montiraj) [8]. Prema [10] zbog slučajnih kvarova i neadekvatnog održavanja stvarno vrijeme održavanja je oko 3500 sati.

Ispušni ventil nema ulja za podmazivanje, ima aksijalno i lagano kružno klizanje, izložen je visokoj temperaturi, pritisku i zahtijevanom funkcijom brtvljenja. Tvrtka Mitsubishi H. I. da bi osigurala pouzdanost UEC-LSII/C strojeva, kao glavnu karakteristiku za ispušni ventil primjenjuje: kontrolu temperature sjedišta ventila (granicu hlađenja i prijenosa topline), tvrdoću sjedišta ventila u radnom stanju i ravnomjerni kontakt s rotacijom vretena ventila [11].

Pouzdanost ispušnog ventila je dugotrajna tema počevši od inicijalne faze stroja pa do samog otpisa. Svojstva goriva i korozivni sadržaji u izgaranju plina imaju značajan utjecaj na pouzdanost ispušnog ventila kroz njihov mehanički i kemijski napad. Da bismo postigli dugi vijek ispušnog ventila, osim njegovog periodičnog održavanja, također je važno pravilno održavanje rasprskavača kao ključnog faktora za ispušni ventil. Najčešći mod kvara¹ ispušnog ventila je izgaranje ventila (Tablica 6).

¹ Mod kvara predstavlja odstupanja od specifikacije na najnižoj razini funkcionalnog rastavljanja. Uzrok kvara ispušnog ventila može biti uslijed same upotrebe, lošeg podmazivanja, ispušnih plinova, vode u gorivu ili kvalitete goriva [3]

3. ZAKLJUČAK

Istraživanje se temelji na izvornim operativnim podacima iz dnevnih izvještaja (tijekom dvadeset i četiri sata) porivnog sustava u razdoblju od trinaest godina. Iz dnevnika stroja za istraživanje korišteni su podaci o kvarovima kod prekida operacije porivnog stroja za vrijeme plovidbe. Za svaki kvar uzimali su se eksploatacijski podaci o trajanju, datumu i opisu kvara. Podaci preventivnih akcija održavanja nisu bili poznati.

Komponente dobivene iz analize stanja direktno su uključene u proces izgaranja u stroju. Identificirane komponente, kao dio sustava stroja, su najintenzivnije održavane komponente na brodovima. To su ispušni ventil, rasprskič i pumpa goriva. Najugroženija komponenta porivnog stroja je ispušni ventil s najvećom stopom kvara.

Da bi se povećala operativnost i sigurnost plovidbe brodom potrebno je smanjiti učinak kvara značajnih komponenata brodskog pogona, koje se najviše kvare u eksploataciji. Autori predlažu da nastojanja za povećanjem operativnosti i sigurnost plovidbe brodom, osim povećanja broja paralelno povezanih komponenata redundantnih podsustava, moraju ići u smjeru izbora kvalitetnije komponente i boljeg održavanja, tj. podešavanja koncepta održavanja (bira se efikasna politika održavanja). Podešavanje koncepta održavanja značajnih komponenata bazira se na izvornim operativnim podacima iz dnevnika stroja, a postiže se: analizom pojave kvarova porivnog stroja, identifikacijom značajnih komponenata, funkcionalnih grešaka, definiranjem bazičnih učinaka kvara, stope kvara značajnih komponenata i indeksa rizika. Povremeno podešavanje intervala održavanja u realnoj situaciji ili eksploataciji doprinosi minimizaciji troškova u životnom ciklusu.

LITERATURA

- [1] Majdandžić, N., Strategija održavanja i informacijski sustavi održavanja, Slavonski Brod, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 1999., str. 99-100.
- [2] Sabastijanović, S., Osnove održavanja strojarskih konstrukcija, Slavonski Brod, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2002.
- [3] A. Bukša, Modeliranje održavanja brodskog porivnog sustava, doktorska disertacija, Rijeka, A. Bukša, 2005., str. 80-94.
- [4] Dnevnici stroja *MAN 7L 400/500*, Od 1982. – 1994. godine.
- [5] Bukša, A., M. Tudor, P. Kralj, Analiza kvarova brodskih redundantnih sustava, Pomorstvo, 18 (2004), str. 111-120.
- [6] Ozaki, Yoski, An introduction to the ABS Guide for Propulsion Redundancy, Guide for Propulsion Redundancy, The Motor Ship, June 1997, pp. 101-112.
- [7] Čala, I., N. Šakić, Č. Olučić, A model for planning the spare parts in the equipment maintenance, The 14th European Maintenance Conference, 5–7 October 1998, Dubrovnik, Croatia.

- [8] Mokashi, J., J. Wang, A. K. Vermar, A study of reliability-centred maintenance in maritime operations, *Marine Policy*, 26 (2002), str. 325-335.
- [9] Operating manual for diesel engines, Type 7L 400/500, Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg Aktiengesellschaft D – 8900 Augsburg 1, Stadtbachstrasse 1, D 365617 E.
- [10] Obner, H. O., Identification of Failures And Damages In Modern 2-stroke Engines, *Schiff & Hafen*, 40 (1988) 7, 30-35.
- [11] Motomura, O., Reliability aspects and benefits in low speed marine diesel engines, *The Motor Ship*, The 18th Annual Marine Propulsion Conference 21-22 March 1996, The Radisson SAS Hamburg, 95-111.

Summary

FAILURE ANALYSIS OF THE DIESEL ENGINE SHIP PROPULSION SYSTEM

The data, collected within the thirteen-year-long period, on the failures and maintenance activities when the propulsion system failed during the twenty-four hour navigation are taken from the engine-room log book. The significant components that usually failed during exploitation are defined by a delay analysis (of the registered failure cycles) and include the exhaust valve, the injection valve and the fuel pump. The most endangered component of the propulsion system is the exhaust valve having the highest failure rate. In order to increase the ship's safety and her operational level, the authors suggest decreasing the failure impact on the significant components of the ship propulsion system which mostly failed during their exploitation. This can be achieved by choosing significant components of much higher quality and by using a better maintenance procedure that is by applying an adequate maintenance concept.

Key words: propulsion system, diesel-engine, failure analysis, significant components, exhaust valve, maintenance.

Ante Bukša, Ph. D.

Dragan Martinović, Ph. D.

Milan Vidaković, student

University of Rijeka

Faculty of Maritime Studies Rijeka

Studentska 2

51000 Rijeka

Croatia