

Utjecaj zaprljanja rashladnika zraka na rad glavnog motora

Jelenić, Duje

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:371434>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

DUJE JELENIĆ

**UTJECAJ ZAPRLJANJA RASHLADNIKA ZRAKA NA RAD
GLAVNOG MOTORA**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**UTJECAJ ZAPRLJANJA RASHLADNIKA ZRAKA NA RAD
GLAVNOG MOTORA**

**THE INFLUENCE OF SCAVENGING AIR COOLER
CONTAMINATION ON MAIN ENGINE OPERATION**

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Rad na simulatoru 1

Mentor: izv. prof. dr. sc. Dean Bernečić

Student: Duje Jelenić

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112079994

Rijeka, lipanj 2022.

Student: Duje Jelenić

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112079994

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom
UTJECAJ ZAPRLJANJA RASHLADNIKA ZRAKA NA RAD GLAVNOG MOTORA

izradio/la samostalno pod mentorstvom
izv. prof. dr. sc. Deana Bernečića

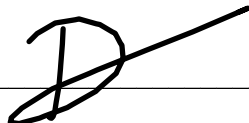
te komentorstvom _____

stručnjaka/stručnjakinje iz tvrtke _____.

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student

(potpis)



Duje Jelenić

Student: Duje Jelenić

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112079994

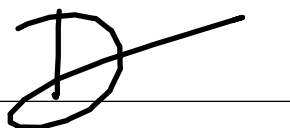
IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student - autor

(potpis)

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized capital letter 'D' with a horizontal line extending to the right, crossing the top of the 'D'.

SAŽETAK

U radu se daje kratki opis rashladnika zraka, opisuje njegova uloga, funkcionalnost te osnovne vrste konstrukcijske izvedbe i montaže. Cilj ovog rada je ukratko pojasniti utjecaj rashladnika zraka na snagu glavnog motora te načine održavanja rashladnika zraka kako bi njegov učinak bio maksimalan. U radu su prikazane tablice s vrijednostima dobivenih pomoću simulacije, pri onečišćenju zračne i vodene strane rashladnika zraka. Na temelju dobivenih vrijednosti nacrtani su dijagrami koji nam prikazuju utjecaj onečišćenja rashladnika na rad glavnog motora.

Ključne riječi: rashladnik zraka, ispirni zrak, snaga motora

SUMMARY

The paper gives an insight into the scavenging air cooler, its task, how it works and the basic construction and installation. The purpose of this paper is to briefly explain the influence of scavenging air cooler on the power of the main engine and what are the basic maintenance procedures in order to maintain its maximum efficiency. The paper presents tables of filled values obtained by simulation for air side and water side contamination of charge air cooler. Based on the obtained values, flow charts are drawn to show the impact of scavenging air cooler contamination on the main engine operation.

Keywords: scavenging air cooler, scavenging air, engine power

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	II
1. UVOD	1
2. ISPIRANJE CILINDARA	2
3. RASHLADNIK ZRAKA	4
3.1. KONSTRUKCIJSKE IZVEDBE RASHLADNIKA ZRAKA	6
3.1.1. <i>Rashladnici zraka hlađeni zrakom</i>	6
3.1.2. <i>Rashladnici zraka hlađeni vodom</i>	6
3.2. POSTAVLJANJE RASHLADNIKA ZRAKA	8
3.3. KONDENZACIJA U RASHLADNIKU ZRAKA.....	9
4. SUSTAVI I SCHEME SA SIMULATORA	11
4.1. SUSTAV ISPIRNOG ZRAKA	11
4.2. SUSTAV HLAĐENJA SLATKOM VODOM.....	12
4.3. OTVORENI INDIKATORSKI DIJAGRAM-TLAK/KUT KOLJENIČASTOG VRATILA	14
5. UTJECAJ ONEČIŠĆENJA RASHLADNIKA ZRAKA NA RAD GM	16
5.1. ONEČIŠĆENJE ZRAČNE STRANE.....	16
5.2. ONEČIŠĆENJE VODENE STRANE	18
5.3. DIJAGRAMI IZVEDENI NA TEMELJU TABLICA	20
5.4. ODRŽAVANJE RASHLADNIKA ZRAKA.....	27
6. ZAKLJUČAK	29
LITERATURA	30
POPIS SLIKA	31
POPIS TABLICA	32

1. UVOD

Rashladnik zraka jedan je od osnovnih dijelova motora, čija funkcionalnost utječe direktno na snagu, iskoristivost te pravilan rad motora. Hlađenjem nastojimo smanjiti temperaturu ispirnog zraka na ulazu u cilindar što bliže idealnoj, kako bismo dobili što veću gustoću zraka. Veća specifična gustoća zraka pruža mogućnost usisa veće količine zraka u cilindar, a time i veće količine goriva. Iz tog razloga potrebno je preventivno održavanje i čišćenje rashladnika zraka u cilju zadržavanja performansi motora.

U radu će se kratko objasniti proces ispiranja cilindra te svrha pojedinih elemenata u tom procesu, u cilju lakšeg povezivanja i razumijevanja uloge rashladnika zraka.

Nadalje, objašnjen je opći princip rada rashladnika zraka, izvedbe te mogućnosti smještaja. S obzirom na mogućnost izvedbe te postavljanja rashladnika na više načina, pojašnjene su prednosti i nedostaci pojedine izvedbe. Kako je riječ o elementu čija je osnovna zadaća hlađenje komprimiranog zraka, jasno je da dolazi do pojave kondenzata. Pojava kondenzacije te njene količine pojasnit će se dijagramom te potkrijepiti termodinamičkim izračunom.

Cilj rada je prikazati zašto i na koji način onečišćenje rashladnika zraka utječe na rad i snagu glavnog motora. Zbog jednostavnijeg pronalaska odgovora na pitanja korišten je Kongsbergov simulator gdje je simuliran dvotaktni sporookretni dizelski motor tipa MAN B&W 5L90MC. Ukratko su objašnjene sheme, koje su usko povezane sa sustavom ispirnog zraka, odnosno rashladnikom ispirnog zraka zbog jednostavnijeg razumijevanja funkcije rashladnika.

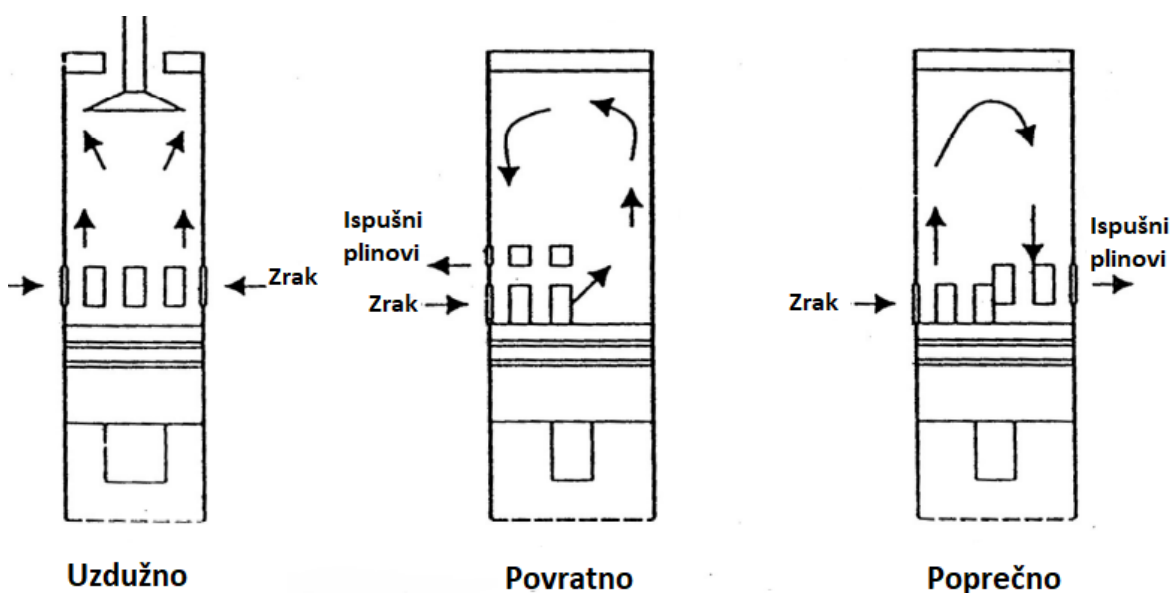
Na temelju simulacija postepenog onečišćenja zračne i vodene strane, jednog ili oba rashladnika, zapisani su parametri koji su nam poslužili za analizu. Na osnovu analize moguće je zaključiti kako onečišćenje zračne i vodene strane jednog ili oba rashladnika utječe na rad glavnog motora.

2. ISPIRANJE CILINDARA

Ispiranje je proces kojim se zamjenjuje ispušni plin u cilindru motora sa svježim okolnim zrakom za sljedeći ciklus. Učinkovito čišćenje je neophodno kako bi se osigurala dovoljna količina svježeg zraka potrebnog za izgaranje. Kod četverotaktnih motora postoji preklapanje između otvaranja usisnog ventila i zatvaranja ispušnog ventila gdje dolazi do neznatnog miješanja ispirnog zraka i ispušnih plinova, dok kod dvotaktnog motora je taj problem gotovo zanemariv. To se preklapanje ograničava i dolazi do neznatnog miješanja ispušnih plinova s nadolazećim svježim zrakom. Kod brodskog sporookretnog dvotaktnog dizelskog motora postoji niz različitih vrsta sustava ispiranja međutim u svakom sustavu ulaz svježeg zraka u cilindar započinje otvaranjem ispirnih otvora kretanjem stapa prema donjoj mrtvoj točki (DMT) i traje sve dok se ispirni otvori ne zatvore sa stapom koji se kreće prema gornjoj mrtvoj točki (GMT). Put protjecanja ispirnog zraka određen je oblikom i dizajnom otvora motora te rasporedom ispušnih elemenata.

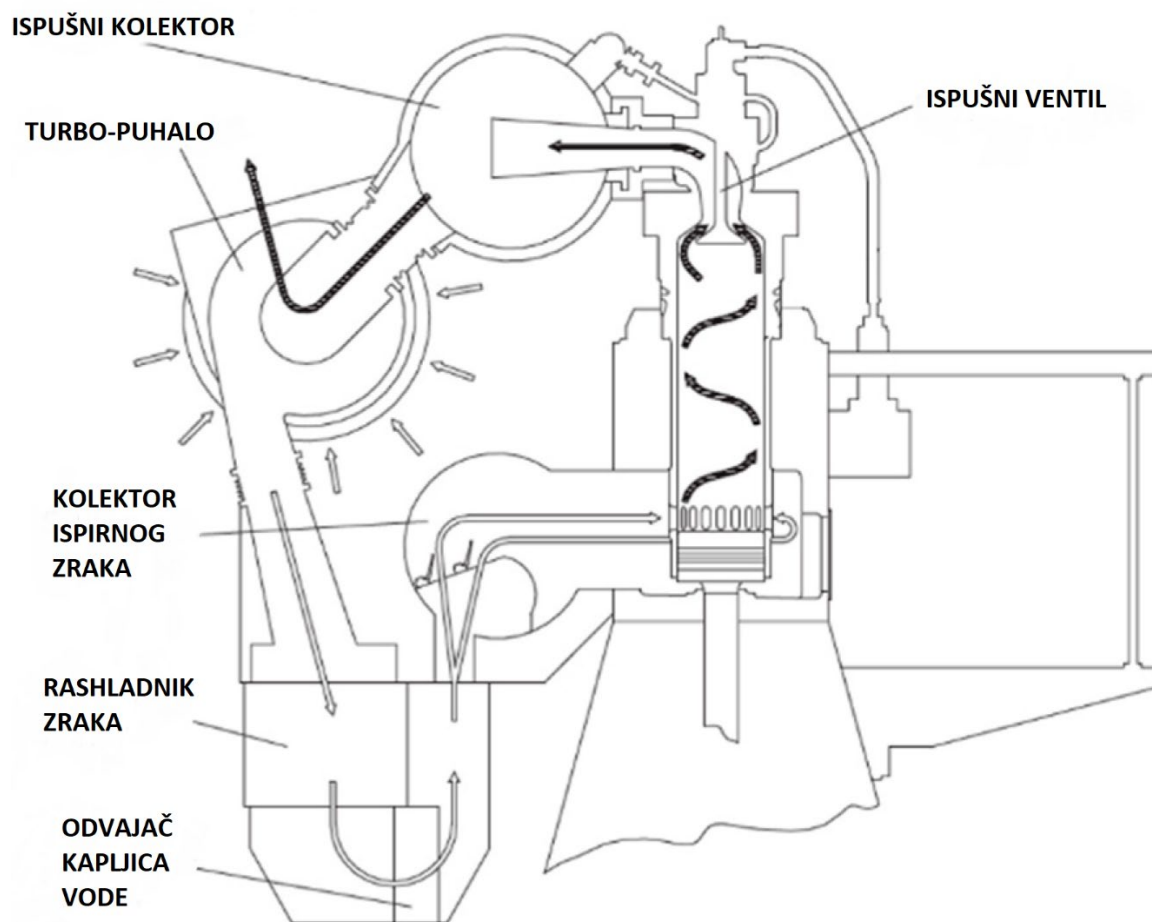
Postoje tri osnovna sustava ispiranja:

- poprečno ispiranje (eng. „cross scavenging“),
- povratno ispiranje (eng. „loop scavenging“),
- uzdužno ispiranje (eng. „uniflow scavenging“).



Slika 1. Sustavi ispiranja [1]

Svi moderni brodski sporookretni dvotaktni dizelski motori trenutno koriste uzdužno ispiranje, odnosno sustav s ispušnim ventilom smještenim u glavi cilindra.



Slika 2. Uzdužno ispiranje [2]

Kako bi se ostvarila dobava svježeg zraka u cilindar motora zrak se prethodno komprimira pomoću turbo-puhala (TP) pogonjenog ispušnim plinovima. Komprimiranjem zraka povećava se temperatura, a zbog boljih performansi motora potrebno ga je ohladiti. To se ostvaruje pomoću rashladnika zraka najčešće hladjenog nisko-temperaturnim (NT) krugom slatke vode ili direktno morskom vodom. Nakon rashladnika zraka svježiji zrak prolazi kroz odvajач kapljica vode (eng. „mist catcher“) kako bi se odvojile kapljice vode u zraku nastale kondenzacijom. Nakon toga zrak ulazi u kolektor ispirnog zraka (eng. „scavenge air receiver“) koji osigurava jednoliku dobavu ispirnog zraka u svaki cilindar. Ispirni zrak svojim ulaskom kroz ispirne otvore tjera ispušne plinove kroz ispušni ventil. Ispušni plinovi protječu na lopatice turbo-puhala te ga pogone.

3. RASHLADNIK ZRAKA

Rashladnik zraka smješten je između turbo-puhala i kolektora ispirnog zraka. Primarni cilj mu je smanjiti temperaturu ispirnog zraka čime se povećava gustoća zraka, a time i učinkovitost motora. Temperature komprimiranoga zraka se na izlazu iz turbo-puhala kreću od 80°C do preko 200°C, te ih rashladnik zraka hlađenjem spušta na temperaturu oko 45°C. Kako je riječ o stlačenom zraku (2 bar do 5 bar) proces izmjene topline odvija se pri velikim brzinama strujanja zraka [3]. Kao rashladni medij moguće je korištenje okolnog zraka, NT kruga slatke vode i morske vode. Kod velikih brodskih sporookretnih dvotaktnih dizelskih motora najveću učinkovitost ima direktni sustav hlađenja s morskom vodom. Propuštanje ili oštećenje rashladnika zraka može uzrokovati gubitak snage, povećanu potrošnju goriva, povećanje emisije štetnih tvari iz ispušnih plinovima (NOx) te smanjenje temperature ispušnih plinova (ukoliko dođe do probijanja rashladnog medija u zrak) ili povećanje temperature ispušnih plinova (u slučaju začepjenja cjevovoda rashladnog medija) što rezultira prekomjernim trošenjem pa čak i oštećenjem motora.

- Termodinamički izračun temperature ispirnog zraka na izlazu iz turbo-puhala:

Realne vrijednosti uzete su s motora „MAN B&W 5L90MC“ na simulatoru [9].

$T_1=37,4^\circ\text{C} \rightarrow 310,55\text{ K}$ - Temperatura u strojarnici

$T_2=171,3^\circ\text{C} \rightarrow 444,5\text{ K}$ - Temperatura nakon turbo-puhala

$P_1=1,01\text{ bar}$ - Tlak u strojarnici

$P_2=2,05\text{ bar}$ - Tlak u kolektoru ispirnog zraka

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \quad \text{Odnos tlakova i temperature prema politropskoj promjeni stanja,}$$

$$\frac{n-1}{n} = \log_{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)} \left(\frac{T_2}{T_1}\right) \quad \text{Izvlačimo politropski eksponent „n“ za naš slučaj,}$$

$$\frac{n-1}{n} = x \quad \text{Logaritam iz prethodnog retka zamjenjujemo nepoznanicom „x“,}$$

$$x = 0,50658$$

$$n = \frac{1}{1-x} = 2,0267 \quad \text{Politropski eksponent „n“ za naš slučaj.}$$

Ukoliko bi uzeli vrijednost $P_2=5 \text{ bar}$ (tlak u kolektoru ispirnog zraka) za ovu vrstu motora:

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 * \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \\ &= 310,55 * \left(\frac{5}{1,01}\right)^{\frac{2,0267-1}{2,0267}} \\ &= 698,28 \text{ K} \rightarrow 425,13^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Temperatura ispirnog zraka nakon turbo-puhala iznosila bi $425,13^\circ\text{C}$. U stvarnosti kod velikih brodskih motora turbo-puhalo komprimira ispirni zrak na maksimalno do 2.05 bar.

Uloga rashladnika je:

- smanjiti temperaturu ispirnog zraka i time povećati specifičnu masu,
- povećati mogućnost izgaranja veće količine goriva čime se dobiva veća snaga motora,
- smanjenje temperature ispušnih plinova te temperaturnog opterećenja motora,
- povećanje efikasnosti ispiranja, sigurne temperature rada [4].



Slika 3. Cijevni tip rashladnika zraka [5]

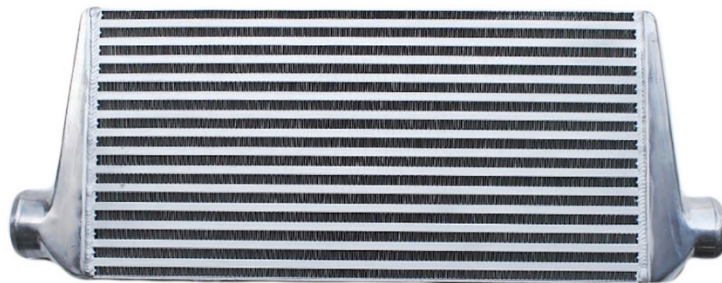
3.1. KONSTRUKCIJSKE IZVEDBE RASHLADNIKA ZRAKA

Danas postoje dvije vrste izvedbe rashladnika zraka, a to su:

- rashladnici zraka hlađeni zrakom,
- rashladnici zraka hlađeni vodom.

3.1.1. Rashladnici zraka hlađeni zrakom

Vrlo jednostavna izvedba rashladnika koja koristi vanjski protok zraka kao hladniji medij kako bi ohladila komprimirani zrak. Sastoji se od ulaznog i izlaznog otvora za komprimirani zrak te kanala pločaste izvedbe kroz koje prolazi komprimirani zrak. Između tih kanala postavlja se rebrasti lim kako bi se povećala površina za izmjenu topline, smanjio brzinu strujanja zraka te tako produžio vrijeme predaje topline s komprimiranog zraka na okolni zrak. Ova izvedba rashladnika zraka najveću primjenu ima u motorima cestovnih vozila jer strujanje zraka omogućuje takvu izvedbu.



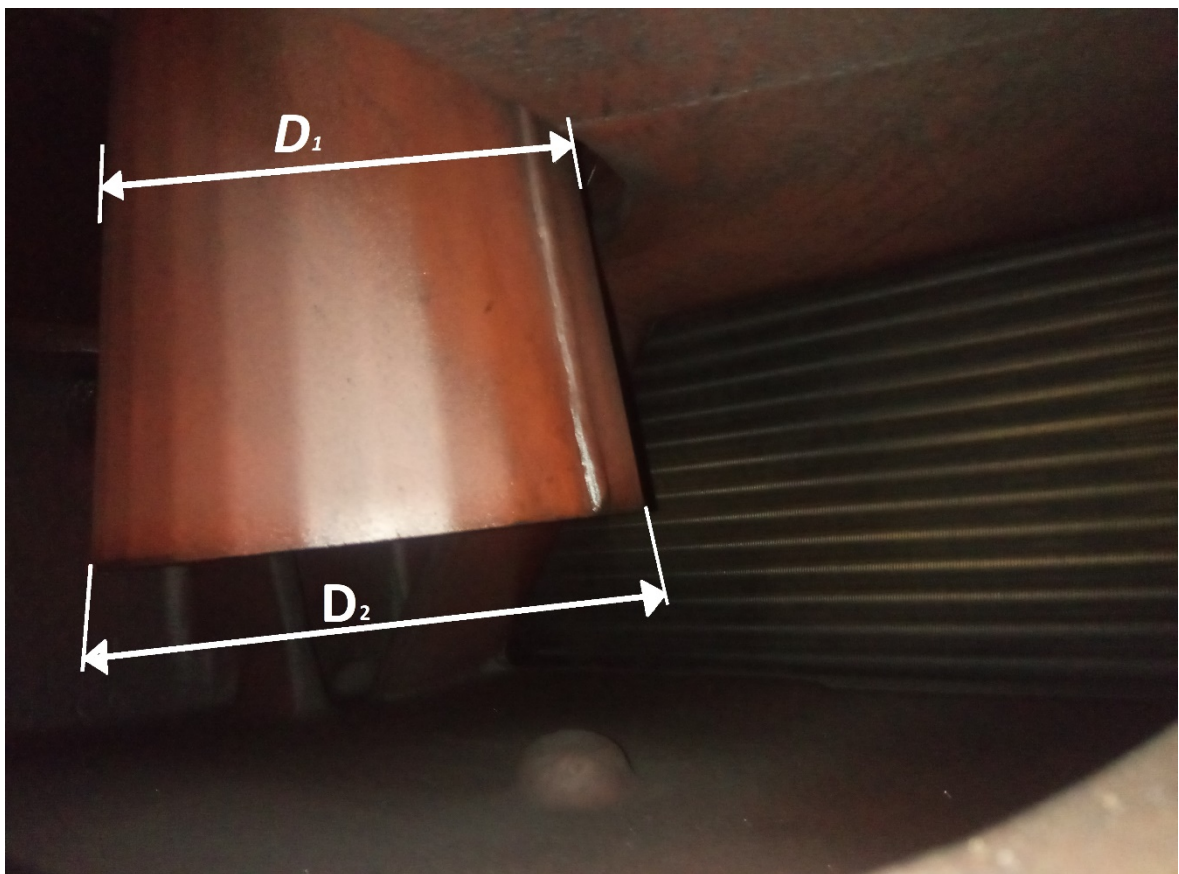
Slika 4. Rashladnik zraka hlađen zrakom [6]

3.1.2. Rashladnici zraka hlađeni vodom

Ova izvedba mnogo je složenija u odnosu na prethodnu izvedbu jer zahtjeva dodatne pomoćne elemente kao što su cjevovodi NT kruga slatke vode i mora, pumpe vode NT kruga, pumpe mora, drenažni ventili itd. Unutar kućišta nalaze se cijevi kroz koje cirkulira voda, a oko njih struji komprimirani zrak. Kako bi se poboljšale performanse rashladnika

zraka, a da se pritom ne mijenja volumen kućišta, na cijevi kroz koje cirkulira voda postavljaju se rashladna rebra. Posljedica toga je veća površina za izmjenu topline, te sporije strujanje zraka oko cijevi tj. duže vrijeme za predaju topline komprimiranog zraka na rashladni medij. Dovod komprimiranog zraka napravljen je tako da se cijev od dijela pročišćenog zraka turbo-puhala širi prema rashladniku zraka odnosno promjer na izlazu iz turbo-puhala je manji od promjera na ulazu u rashladnik. Time se postiže dodatno smanjenje brzine zraka. Nakon rashladnika nalazi se suženi dio cijevi koji povećava brzinu strujanja zraka prema ispirnom kolektoru te u konačnici kroz ispirne otvore u cilindre motora.

Najveću primjenu rashladnika zraka hlađenog vodom imamo upravo na brodskim motorima iz razloga što voda ima veliki toplinski kapacitet te je time najpovoljnija za hlađenje ispirnog zraka. Dimenzije rashladnika zraka takvih kapaciteta hlađenih zrakom bile bi jako velike.



Slika 5. Cijev dovoda komprimiranog zraka u rashladnik [7]

Na slici 5. prikazana je cijev dovoda komprimiranoga zraka iz turbo-puhala u rashladnik zraka. Zbog potrebe za smanjenjem brzine strujanja zraka postavlja se cijev konusnog oblika ($D_1 < D_2$) „difuzor“.

3.2. POSTAVLJANJE RASHLADNIKA ZRAKA

Rashladnik zraka može biti postavljen:

- pričvršćen uz konstrukciju glavnog motora,
- odvojen od glavnog motora te povezan cjevovodima.

Rashladnik zraka se najčešće pričvršćuje uz konstrukciju glavnog motora. Prednosti takve izvedbe su neposredna blizina turbo-puhala te kraći cjevovod ispirnog zraka, što rezultira manjim padom tlaka. Prikaz takve izvedbe može se vidjeti na slici 2.

Zbog određenih predispozicija i zahtjeva glavnog motora, rashladnik zraka se može postaviti i odvojeno od glavnog motora (slika 6).

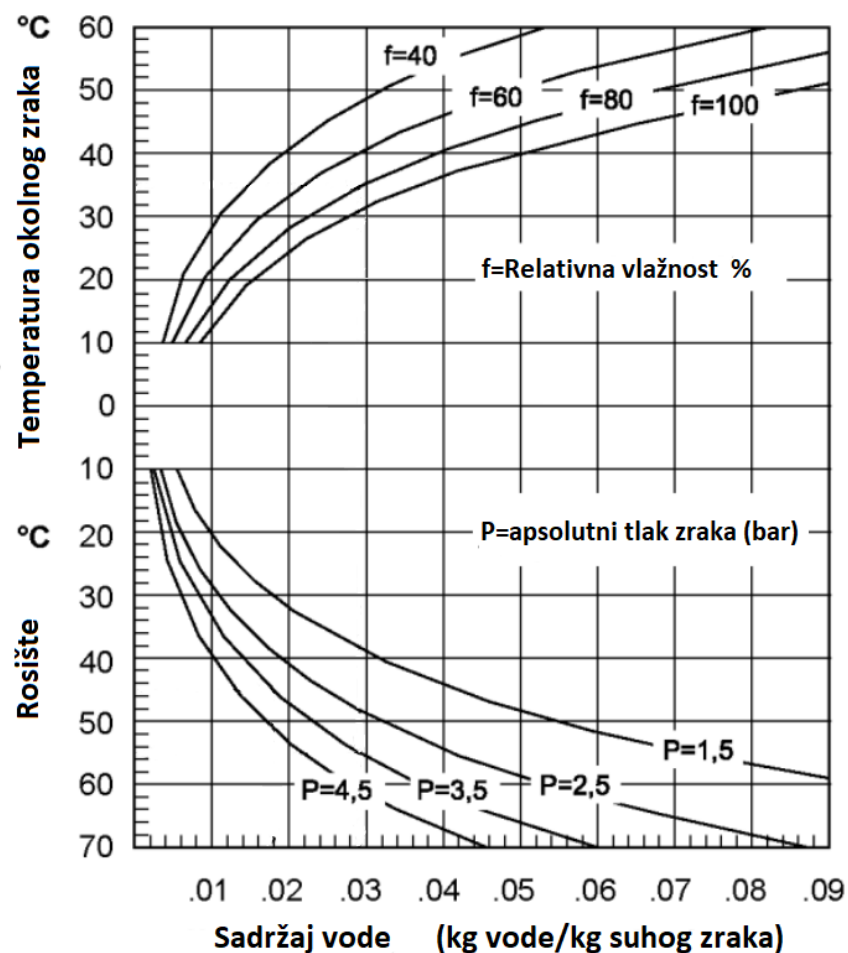


Slika 6. Rashladnik zraka odvojen od glavnog motora [7]

Prednost ove izvedbe je jednostavnije održavanje rashladnika zraka, ali je potreban znatno duži cjevovod te snažne fleksibilne priрубnice kako bi se poništile vibracije koje proizvodi glavni motor. Duži cjevovod dovodi do većeg pada tlaka pa ga je potrebno održavati ako je moguće većom snagom turbo-puhala. Na slici 6. prikazana je pločasta izvedba rashladnika zraka hlađena nisko-temperaturnim krugom slatke vode.

3.3. KONDENZACIJA U RASHLADNIKU ZRAKA

Prilikom hlađenja ispirnog zraka dolazi do pojave kondenzata, a posebno u tropskim područjima, gdje okolni zrak sadržava veliku količinu vlage. Stoga se na dnu rashladnika zraka nalazi tanki cjevovod za ispuštanje nastalog kondenzata.



Slika 7. Dijagram kondenzacije u rashladniku zraka [8]

Na slici 7. u dijagramu prikazan je utjecaj (f) relativne vlažnosti, (P) tlaka ispirnog zraka i temperature rosišta vlage sadržane u zraku, na količinu kondenzata nastalog u rashladniku zraka prilikom procesa hlađenja ispirnog zraka.

Iz dijagrama je vidljivo da bi u hladnijim područjima poput sjevernog Atlantika kojeg karakteriziraju niske temperature i manja vlažnost zraka, imali znatno manju količinu kondenzata u rashladniku zraka, nego što je to slučaj u tropskim područjima.

Primjer na osnovu dijagrama:

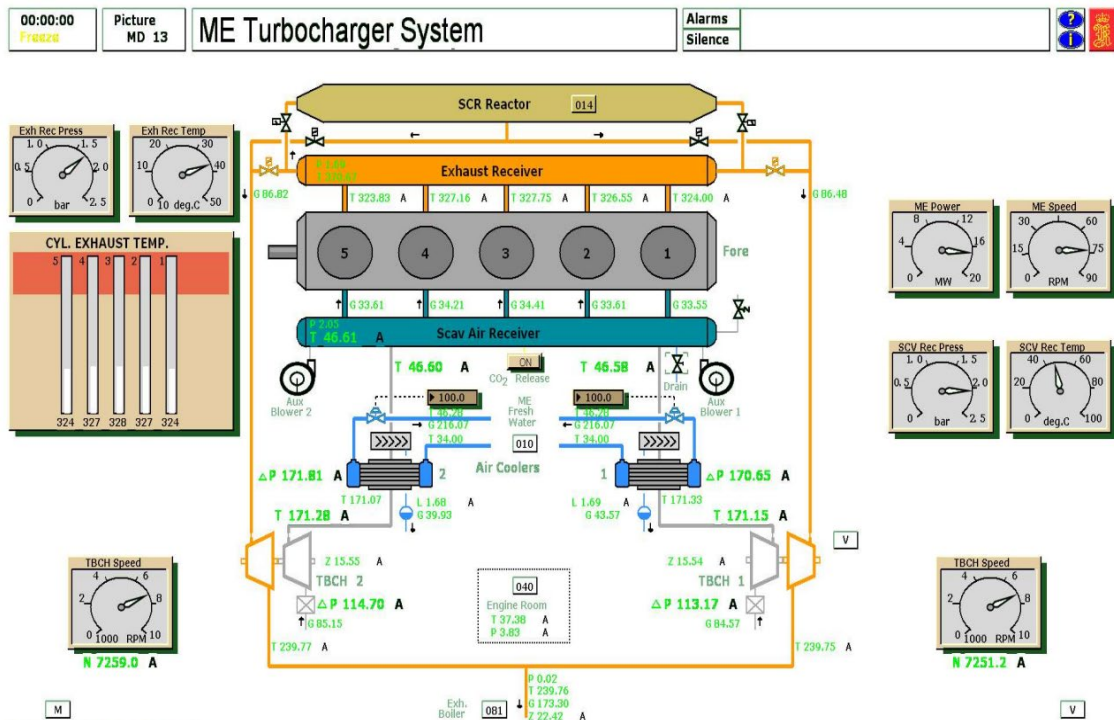
Pri temperaturi 35°C i relativnoj vlažnosti zraka od 80%, sadržaj vode u zraku je 0.029 kg vode/kg suhog zraka. Ako je tlak u ispirnom kolektoru 2.5 bar (relativni) potrebno je tome zbrojiti atmosferski tlak kako bi dobili apsolutnu vrijednost. Iz toga dobivamo da je tlak ispirnog zraka 3.5 bar (apsolutno), a temperatura rosišta pri tom tlaku iznosi 55°C. Prilikom hlađenja ispirnog zraka na temperaturu od 45°C sadržaj vode u zraku može biti maksimalno 0.018 kg vode/kg suhog zraka. Razlika iznosi, 0.011 kg vode/kg suhog zraka (0.029-0.018). Dobivena razlika je količina kondenzata koja bi se pojavila u rashladniku zraka pri navedenim uvjetima [8].

U manjim motorima kondenzirati će se nekoliko litara vode po satu međutim u velikim dizelskim motorima ta količina može biti i nekoliko tisuća litara vode po satu. Kako je riječ o velikim količinama kondenzata potrebno je postavljanje odvajača kapljica kako bi spriječili mogućnost prolaska kapljice vode u kolektor ispirnog zraka te držanje drenažnih ventila otvorenima kako bi se odvodio kondenzat iz kolektora.

4. SUSTAVI I SHEME SA SIMULATORA

MAN B&W 5L90MC je sporookretni dvotaktni dizelski motor s turbo-puhalom. Izveden je s 5 cilindara koji proizvode snagu od 17400 kW pri brzini vrtnje od 76 okr./min. Konstruiran je s dva turbo-puhala koji tlače svježi zrak u kolektor ispirnog zraka, prethodno ohlađenog pomoću dva rashladnika zraka hladena NT krugom slatke vode.

4.1. SUSTAV ISPIRNOG ZRAKA



Slika 8. Shema sustava ispirnog zraka [9]

Na slici 8. prikazana je shema sustava ispirnog zraka u brodskoj strojarnici. Uočljivo je da motor ima dva turbo-puhala i dva rashladnika zraka, što povećava razinu sigurnosti te kapacitet ispirnog zraka.

Protok svježeg zraka iz strojarnice prema cilindrima motora započinje preko dva zasebna filtera zraka koji se nalaze na usisu svježeg zraka u turbo-puhalo. Zatim se svježi zrak komprimira pomoću turbo-puhala koji su pogonjeni ispušnim plinovima iz kolektora ispušnih plinova (eng. „Exhaust Receiver“).

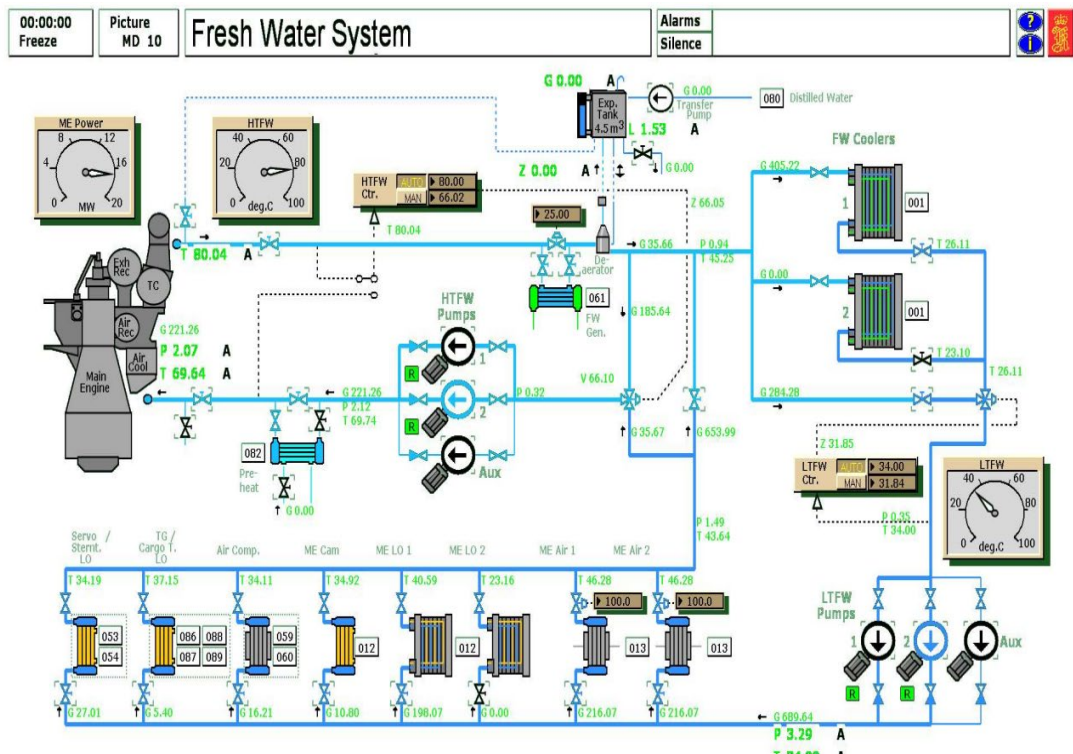
Nakon turbo-puhala komprimirani zrak prolazi kroz rashladnike zraka, koji su hladeni NT krugom slatke vode.

Ohlađeni zrak nastavlja strujanje prema kolektoru ispirnog zraka „Scavenging air receiver“, čija je funkcija održavanje konstantnog tlaka za svaki pojedini cilindar. Na kolektoru ispirnog zraka nalaze se dva pomoćna puhala pogonjena elektromotorima, čija je funkcija održavanje predtlaka u kolektoru na nižim režimima rada motora kad glavna TP nemaju dovoljan kapacitet kao i kod startanja motora kad glavna TP još ne rade.

Kako bi se pojednostavio sustav ispušnih plinova te smanjio broj ispušnih cjevovoda postavlja se kolektor ispušnih plinova. Na izlazu iz cilindra ispušni plinovi idu u kolektor ispušnih plinova nakon čega prolaze kroz naknadni sustav obrade radi smanjivanja NOx emisije.

Na kraju cijelog ciklusa ispušni plinovi prolaze kroz turbinsku stranu turbo-puhala te obavljaju dodatan rad tj. svojim protokom pogone turbo-puhalo. Kako je i dalje riječ o dovoljno visokim temperaturama (na izlazu iz TP), ispušni plin prolazi kroz generator pare na ispušne plinove (eng. „exhaust gas boiler“) gdje predaje toplinu na vodu i paru, a potom kroz ispušne cjevovode odlazi u atmosferu.

4.2. SUSTAV HLAĐENJA SLATKOM VODOM



Slika 9. Shema sustava hlađenja slatkom vodom [9]

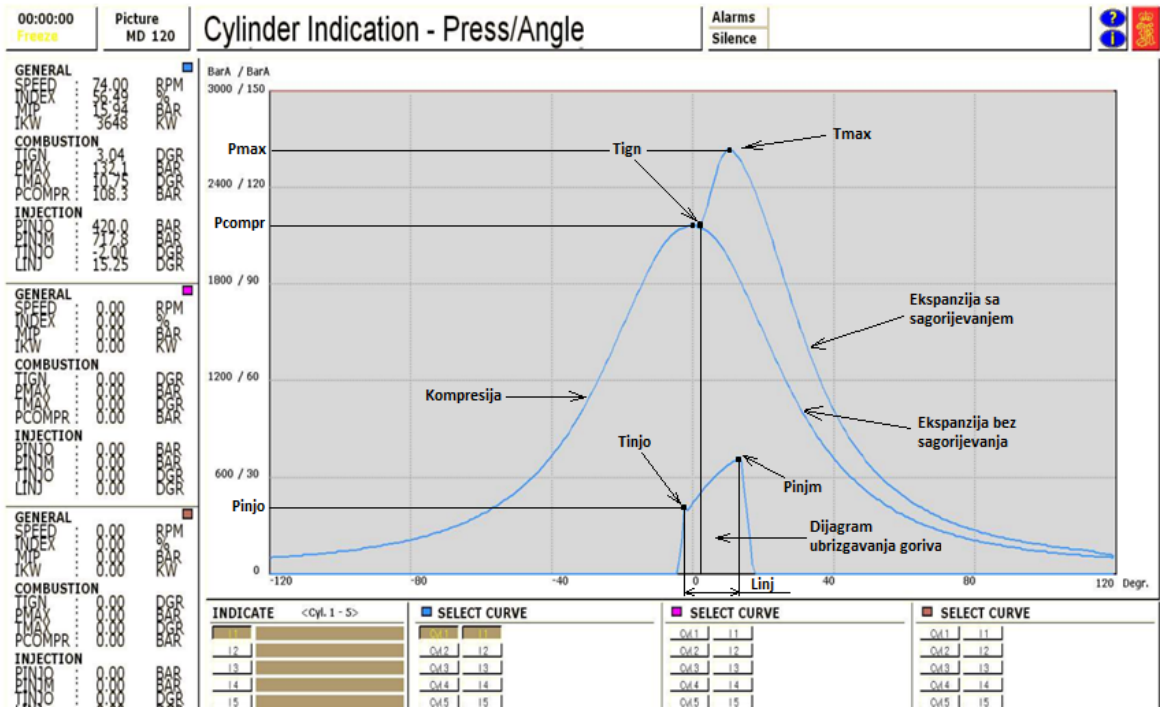
Na slici 9. prikazana je shema (NT) i visoko-temperaturnog (VT) kruga slatke vode čija je zadaća hlađenje pomoćnih uređaja i glavnog motora. Sustav NT kruga sastoji se od dvije velike centrifugalne pumpe i jedne pomoćne „Emergency“ pumpe. U normalnom režimu rada dovoljna je jedna pumpa, dok druga stoji u pričuvi. Funkcija pomoćne pumpe je održavanje protoka NT kruga u lučkom pogonu kada su zahtjevi za cirkulacijom rashladne vode smanjeni. Cirkuliranjem NT kruga hlađeni su pomoćni uređaji: rashladnici zraka, rashladnici ulja, rashladnik ulja bregastog vratila, kompresori, rashladnici ulja za turbo-generator i turbo-pumpe tereta te rashladnici ulja za statvenu cijev i kormilarski sustav. Nakon pomoćnih uređaja koji se hlade NT krugom, dio vode prolazi kroz troputni ventil kako bi miješanjem održao željenu temperaturu VT kruga, a dio prolazi kroz rashladnik NT kruga.

Postoje dva glavna rashladnika slatke vode (pločaste izvedbe) kod kojih s jedne strane prolazi slatka, a s druge strane morska voda koja preuzima toplinu na sebe. U normalnom režimu rada dovoljan je jedan rashladnik dok drugi stoji kao sigurnost u slučaju propuštanja ili začepjenja jednog od rashladnika.

Nakon rashladnika zraka postavljen je pneumatski upravljani troputni ventil, čija je uloga održavanje temperature NT kruga na 34°C. Kontroler uzima vrijednost temperature nakon rashladnika te na temelju razlike željene i stvarne temperature šalje signal na pneumatski aktuator troputnog ventila. Ventil svojim otvaranjem/zatvaranjem mijenja smjer protoka slatke vode kroz ili oko rashladnika vode „by-pass“.

Sustav VT kruga sastoji se od tri centrifugalne pumpe od kojih je jedna pomoćna kao što je slučaj u NT krugu slatke vode. Prije ulaza vode u glavni motor postavljen je parni grijač, čija je funkcija predgrijavanje glavnog motora. Na izlazu slatke vode iz glavnog motora postavljen je odzračni ventil spojen na ekspanzijsku posudu pomoću koje se regulira tlak te kompenzira širenje i skupljanje cjevovoda VT i NT kruga slatke vode. Također, kao i kod NT kruga, postavlja se kontroler temperature koji uspoređuje željenu temperaturu (80°C) sa stvarnom te na temelju razlike temperatura djeluje na troputni ventil. Ventil svojim otvaranjem/zatvaranjem regulira količinu miješanja NT vode s VT krugom. Nakon kontrolera nalazi se izmjenjivač topline za grijanje, potrebno za isparavanje morske vode u generatoru slatke vode (eng. „fresh water generator“) te otplinjač (eng. „deaerator“), čija je zadaća uklanjanje nastalih mjehurića unutar cjevovoda koji mogu pospješiti pojavu kavitacije.

4.3. OTVORENI INDIKATORSKI DIJAGRAM – TLAK / KUT KOLJENIČASTOG VRATILA



Slika 10. Otvoreni indikatorski dijagram – tlak/kut koljeničastog vratila prilikom pravilnog rada motora [9]

Otvoreni indikatorski dijagram nekad se uzimao pomoću mjernog uređaja s crtaćom iglom, koji bi se postavio na indikatorski pipac, dok bi čovjek svojom rukom morao pomicati papir približno istom brzinom kojom se vrti koljeničasto vratilo. Takvi su dijagrami bili teško izvedivi i ponekad neprecizni. Danas u automatiziranim strojarnicama dijagrame dobivamo direktno na računala u kontrolnoj kabini strojarnice. Takvi su dijagrami vrlo precizni i služe za dijagnostiku motora.

Otvoreni indikatorski dijagram pokazuje mnogobrojne informacije na temelju kojih se može uočiti razlika u radu pojedinog cilindra na ostatak te na temelju toga izvršiti dijagnostiku kvarova.

Na x-osi prikazani su kutovi koljeničastog vratila gdje 0° označava GMT. Kako je potrebno istaknuti proces oko GMT, dovoljno je prikazati dio okreta koljeničastog vratila od ±120°. Na y-osi prikazani su tlakovi u dva stupca izraženi u barima. Lijevi stupac odnosi se na mali dijagram, tj. dijagram tlaka ubrizgavanja goriva, dok se desni stupac odnosi na veliki dijagram (tlak u cilindru).

OSNOVNI PARAMETRI RADA MOTORA PRILIKOM SNIMANJA DIJAGRAMA:

- SPEED – brzina vrtnje koljeničastog vratila [okr/min],
- INDEX - pozicija letve goriva [%],
- MIP - („Mean Indicated Pressure“) srednji indicirani tlak [bar],
- IKW - („Indicated Power of the cylinder“) snaga na određenom cilindru [kW],
- TIGN - vrijeme paljenja smjese [°KV],
- PMAX - maksimalni tlak prilikom radnog ciklusa [bar],
- TMAX - točka maksimalne temperature tijekom radnog ciklusa [°KV],
- PCOMPR - tlak po završetku kompresije [bar],
- PINJO - tlak otvaranja igle rasprskavača [bar],
- PINJM - maksimalni tlak goriva koji stvara visokotlačna pumpa [bar],
- TINJO - početak ubrizgavanja goriva [°KV],
- LINJ - duljina perioda ubrizgavanja goriva u cilindar [°KV].

5. UTJECAJ ONEČIŠĆENJA RASHLADNIKA ZRAKA NA RAD GM

Do onečišćenja, a samim time i smanjene učinkovitosti rashladnika zraka može doći na dvije strane:

- zračne strane,
- vodene strane.

U sljedećim tablicama prikazane su vrijednosti određenih mjernih pozicija pri različitim postotcima zaprljanja jednog ili oba rashladnika zraka. Praćenje mjernih pozicija odrađeno je pri punom brodu, mirnom moru uz minimalni otpor strujanja, konstantnoj temperaturi NT kruga (34°C) te pri položaju ručice gasa 100% „navigation full ahead“. Raspon onečišćenja mjeri se od 0% do aktiviranja sigurnosnog režima rada „slow down“.

Polja označena crvenom bojom označavaju pojavu alarma na određenoj mjernoj poziciji.

5.1. ONEČIŠĆENJE ZRAČNE STRANE

Tablica 1. Tablica mjernih pozicija pri onečišćenju zračne strane jednog rashladnika [7]

ZAPRLJANJE JEDNOG RASHLADNIKA ZRAKA (ZRAČNA STRANA)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	MJERNA JEDINICA
PROTOK KROZ FILTER ZRAKA	85.15	80.5	76.5	72.3	67.9	64.1	60.4	57.2	53.5	50.2	ton/h
Δp FILTERA ZRAKA	114.7	103.3	93.3	83.2	73.2	65.1	58.4	52	45.6	40.1	mmWC
TEMP. ZRAKA NAKON TURBO-PUHALA	171.28	176.1	180.8	186.4	192.7	199.2	207.35	214.8	223.26	233.1	°C
Δp RASHLADNIKA ZRAKA	171.81	247.2	306.8	347.8	373.8	392.2	403.7	405.1	394.7	383.8	mmWC
IZLAZNA TEMP. RASHLADNE VODE	46.28	45.8	45.33	44.77	44.18	43.59	43.06	42.4	41.67	40.9	°C
PROTOK RASHLADNE VODE	216.07	216.28	216.4	216.54	216.76	216.93	217.09	217.16	217.3	217.53	ton/h
TEMP. NA IZLAZU IZ RASHLADNIKA	46.6	49.75	53.4	57.92	63.43	70.15	78.4	88.14	99.76	113.62	°C
TEMP. U KOLEKTORU ISPIRNOG ZRAKA	46.61	48	49.59	51.47	53.64	56.23	59.46	62.9	66.85	71.24	°C
TLAK U KOLEKTORU ISPIRNOG ZRAKA	2.05	2	1.96	1.91	1.86	1.81	1.77	1.74	1.7	1.66	bar
TEMP. KOŠULJICE CILINDRA	171	172.3	176.5	180.6	184.6	189.8	194	200.4	206.39	211.9	°C
TEMP. GLAVE CILINDRA	197	202.7	208.6	215.8	223.6	231.42	237.9	247.3	257.4	267.3	°C
PROSJEČNA TEMP. ISPUŠNIH PLINOVA NA IZLAZU IZ CILINDRA	325	335	346	358	372	386	397	414	431	450	°C
TEMP. ISPUŠNIH PLINOVA U KOLEKTORU	370.67	378.6	387.1	396.1	407.9	420	429.1	443.1	457.2	472.5	°C
TLAK ISPUŠNIH PLINOVA U KOLEKTORU	1.69	1.65	1.62	1.58	1.54	1.52	1.48	1.45	1.42	1.39	bar
PROTOK ISPUŠNIH PLINOVA NA ULAZU U TURBO-PUHALO	86.82	84.3	82.3	79.5	76.7	74.5	72.7	70.7	68.55	66.68	ton/h
TEMP. ISPUŠNIH PLINOVA NAKON TURBO-PUHALA	239.77	246.4	253.4	261	271.1	280.8	288.6	300.9	314.58	328	°C
BROJ OKRETAJA TURBO-PUHALA	7255	7240~7196	7400~7055	7344~7009	7241~6963	7224~6854	7170~6832	7289~6760	7255~6732	7100~6612	okr/min
SNAGA GLAVNOG MOTORA	16.75	16.76	16.78	16.79	16.82	16.83	16.83	16.84	16.86	16.87	MW
POLOŽAJ LETVE GORIVA	56.65	56.56	56.75	56.73	56.73	56.61	56.5	56.73	57	57.22	%
EKONOMIČNOST GORIVA	205.3	204.93	205.1	204.91	205.32	204.82	214.63	215.12	216.24	217.05	kg/nm

Potpunim onečišćenjem (100%) zračne strane jednog rashladnika zraka, automatika glavnog motora aktivira sigurnosni režim rada „slow down“ zbog previsoke temperature ispušnih plinova na izlazu iz cilindra (+450°C) te visoke temperature ispirnog zraka u kolektoru (+80°C).

Tablica 2. Tablica mjernih pozicija pri onečišćenju zračne strane oba rashladnika [7]

ZAPRLJANJE OBA RASHLADNIKA ZRAKA (ZRAČNA STRANA)	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	MJERNA JEDINICA
PROTOK KROZ FILTER ZRAKA	85.15	82.36	80	77.7	75.1	72.5	70	67.81	65.7	63.6	ton/h
Δp FILTERA ZRAKA	114.7	108.01	102.1	95.8	89.5	83.6	77.9	72.9	68.5	64.3	mmWC
TEMP. ZRAKA NAKON TURBO-PUHALA	171.28	172.9	174	176.1	177.8	179.1	181	182	183.7	185	°C
Δp RASHLADNIKA ZRAKA	171.81	209	245	273	294	313	327.8	339.8	350.2	357.5	mmWC
IZLAZNA TEMP. RASHLADNE VODE	46.28	45.9	45.6	45.2	44.85	44.44	44.01	43.64	43.27	42.91	°C
PROTOK RASHLADNE VODE	216.07	216.3	216.4	216.51	216.7	216.9	217	217.39	217.5	217.57	ton/h
TEMP. NA IZLAZU IZ RASHLADNIKA	46.6	47.9	49.35	50.93	52.6	54.8	56.4	58.71	61.05	63.8	°C
TEMP. U KOLEKTORU ISPIRNOG ZRAKA	46.61	47.9	49.38	50.96	52.6	54.5	56.45	58.67	61.1	63.74	°C
TLAK U KOLEKTORU ISPIRNOG ZRAKA	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.75	1.71	1.67	1.62	bar
TEMP. KOŠULJICE CILINDRA	171	173	177	180.1	184	189	193	197	204	210.3	°C
TEMP. GLAVE CILINDRA	197	202	209	215.1	223	231.2	239.5	248.3	257.5	267.4	°C
PROSJEČNA TEMP. ISPUŠNIH PLINOVA NA IZLAZU IZ CILINDRA	325	335	345	356	371	385	400	416	431	450	°C
TEMP. ISPUŠNIH PLINOVA U KOLEKTORU	370.67	378.5	387.2	397	408	419.2	431.2	444.6	458.8	472.8	°C
TLAK ISPUŠNIH PLINOVA U KOLEKTORU	1.69	1.65	1.62	1.58	1.55	1.5	1.46	1.43	1.4	1.37	bar
PROTOK ISPUŠNIH PLINOVA NA ULAZU U TURBO-PUHALO	86.82	84.6	82	79.5	76.6	74.22	71.7	69.6	67.7	65.49	ton/h
TEMP. ISPUŠNIH PLINOVA NAKON TURBO-PUHALA	239.77	246.5	253	261.1	271	280.6	292.2	303.4	316.55	329.19	°C
BROJ OKRETAJA TURBO-PUHALA	7255	7226~7128	7192~7139	7134~7063	7088~7000	7008~6929	7067~6770	7096~6733	7025~6673	6958~6612	okr/min
SNAGA GLAVNOG MOTORA	16.75	16.77	16.9	16.81	16.82	16.82	16.84	16.85	16.87	16.87	MW
POLOŽAJ LETVE GORIVA	56.65	56.7	56.66	56.64	56.69	56.65	56.81	56.8	57	57.24	%
EKONOMIČNOST GORIVA	205.3	205.4	205.29	205.3	205.41	205.34	204.92	205.82	206.44	207.21	kg/nm

Daljnijm onečišćenjem (>45%) zračne strane oba rashladnika zraka, automatika glavnog motora aktivira sigurnosni režim rada „slow down“ zbog previsoke temperature ispušnih plinova na izlazu iz cilindra (+450°C).

Usporedbom simulacije zaprljanja jednog rashladnika (tablica 1.) zraka u odnosu na oba, (tablica 2.) uočeno je znatno kasnije aktiviranje zaštite motora „slow down“. Razlog tome je dimenzioniranje rashladnika zraka, koje nam pruža mogućnost održavanja pogona sa skoro samo jednim rashladnikom zraka.

Prateći parametre u tablicama zaprljanja zračne strane rashladnika zraka vidljivo je kako snaga motora ostaje približno jednaka početnim uvjetima. Razlog tome je ispravan rad regulatora brzine, koji unatoč onečišćenju rashladnika uspijeva davati signale na

visokotlačne pumpe goriva kako bi se dobavljala veća količina goriva u cilindre motora i tako održala jednaka snaga motora. To je vidljivo promjenom položaja letve goriva te potrošnjom goriva po prijeđenoj nautičkoj milji.

Zbog nepravilnog rada turbo-puhala, dolazi do prevelikih oscilacija u radu te nije moguće izmjeriti točnu brzinu vrtnje. Iz tog razloga upisane su dvije vrijednosti, tj. gornja i donja granica brzine vrtnje turbo puhala.

5.2. ONEČIŠĆENJE VODENE STRANE

Tablica 3. Tablica mjernih pozicija pri onečišćenju vodene strane jednog rashladnika [7]

ZAPRLJANJE JEDNOG RASHLADNIKA ZRAKA (VODENA STRANA)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	MJERNA JEDINICA
PROTOK KROZ FILTER ZRAKA	85.15	85.38	85.4	85.56	86.2	87.1	87.8	88.39	89.6	ton/h
Δp FILTERA ZRAKA	114.7	114.7	114.8	116.6	117.4	119.9	122	124.5	127.6	mmWC
TEMP. ZRAKA NAKON TURBO-PUHALA	171.28	171.28	171.71	172	172.2	173	173.1	173.5	173.6	°C
Δp RASHLADNIKA ZRAKA	171.81	171.8	173.6	175.1	176.8	178.8	181.15	186.17	193.1	mmWC
IZLAZNA TEMP. RASHLADNE VODE	46.28	48.73	51.04	53	54.6	55.76	56.45	56.44	55.56	°C
PROTOK RASHLADNE VODE	216.07	175.74	147.84	127.66	112.33	100.29	90.68	82.67	76.02	ton/h
TEMP. NA IZLAZU IZ RASHLADNIKA	46.6	50.23	54.49	59.64	65.53	72.51	80.46	89.9	100.68	°C
TEMP. U KOLEKTORU ISPIRNOG ZRAKA	46.61	48.23	50.21	52.7	55.66	59.15	63.12	67.88	73.4	°C
TLAK U KOLEKTORU ISPIRNOG ZRAKA	2.05	2.05	2.06	2.07	2.09	2.1	2.12	2.14	2.17	bar
TEMP. KOŠULJICE CILINDRA	171	172.9	173.8	172.8	175.9	174.6	177.5	181.6	182.1	°C
TEMP. GLAVE CILINDRA	197	198.1	199.2	198.8	200	200.2	201.5	202.9	203.2	°C
PROSJEČNA TEMP. ISPUŠNIH PLINOVA NA IZLAZU IZ CILINDRA	325	326	327	328	329	330	331	331	332	°C
TEMP. ISPUŠNIH PLINOVA U KOLEKTORU	370.67	372	372.12	373	373.9	374.6	376.5	377	378.1	°C
TLAK ISPUŠNIH PLINOVA U KOLEKTORU	1.69	1.69	1.7	1.71	1.73	1.74	1.75	1.77	1.78	bar
PROTOK ISPUŠNIH PLINOVA NA ULAZU U TURBO-PUHALO	86.82	87.1	87.19	87.8	88.2	88.6	89.67	90.54	91.9	ton/h
TEMP. ISPUŠNIH PLINOVA NAKON TURBO-PUHALA	239.77	240.1	240.78	241.34	241.9	243	244	246.6	245.4	°C
BROJ OKRETAJA TURBO-PUHALA	7255	7263	7286	7300	7313	7340	7364	7400	7438	okr/min
SNAGA GLAVNOG MOTORA	16.75	16.76	16.76	16.78	16.78	16.80	16.79	16.79	16.83	MW
POLOŽAJ LETVE GORIVA	56.65	56.68	56.7	57	56.9	57.1	56.87	57.14	57.03	%
EKONOMIČNOST GORIVA	205.3	205.37	205.41	206.05	205.71	206.15	206.1	206.27	206.35	kg/nm

Onečišćenjem (>80%) vodene strane jednog rashladnika zraka, automatika glavnog motora aktivira sigurnosni režim rada „slow down“ zbog visoke temperature ispirnog zraka u kolektoru (+80°C).

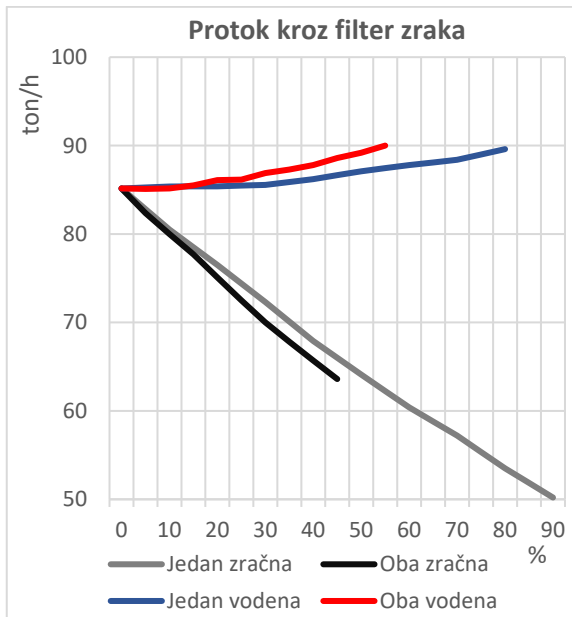
Tablica 4. Tablica mjernih pozicija pri onečišćenju vodene strane oba rashladnika [7]

ZAPRLJANJE OBA RASHLADNIKA ZRAKA (VODENA STRANA)	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	MJERNA JEDINICA
PROTOK KROZ FILTER ZRAKA	85.15	85.1	85.16	85.5	86.1	86.16	86.9	87.3	87.8	88.6	89.2	90	ton/h
Δp FILTERA ZRAKA	114.7	114.5	114.5	116	117.1	118.8	119.3	120.6	121.9	123.8	126.3	128.3	mmWC
TEMP. ZRAKA NAKON TURBO-PUHALA	171.28	171.7	171.7	172.2	172	172.4	172.8	173	173.1	173.4	173.5	173.8	°C
Δp RASHLADNIKA ZRAKA	171.81	171.5	174	174.8	175.5	176.6	180	181.2	182.7	185.9	188	191.7	mmWC
IZLAZNA TEMP. RASHLADNE VODE	46.28	47.2	48.16	49.08	49.91	50.8	51.56	52.25	52.9	53.54	54.1	54.45	°C
PROTOK RASHLADNE VODE	216.07	199.12	184.51	171.8	160.8	151	142.4	134.7	127.87	121.64	115.9	110.82	ton/h
TEMP. NA IZLAZU IZ RASHLADNIKA	46.6	48	49.57	51.39	53.22	55.3	57.54	60.15	62.9	65.92	69.3	73.02	°C
TEMP. U KOLEKTORU ISPIRNOG ZRAKA	46.61	48	49.59	51.36	53.21	55.3	57.61	60.15	62.9	65.93	69.3	73	°C
TLAK U KOLEKTORU ISPIRNOG ZRAKA	2.05	2.06	2.06	2.07	2.08	2.09	2.1	2.11	2.12	2.14	2.15	2.17	bar
TEMP. KOŠULJICE CILINDRA	171	171.5	173	175.1	175.3	176	176.4	178.6	179.2	181.65	181	182	°C
TEMP. GLAVE CILINDRA	197	198.1	199	199.6	199.7	200	200.8	201.5	202.9	203	202	203.2	°C
PROSJEČNA TEMP. ISPUŠNIH PLINOVA NA IZLAZU IZ CILINDRA	325	326	327	327	328	329	330	331	331	332	332	332	°C
TEMP. ISPUŠNIH PLINOVA U KOLEKTORU	370.67	371.8	371.9	372.3	373.4	373.8	374.28	375.68	375.9	376.8	377.5	378	°C
TLAK ISPUŠNIH PLINOVA U KOLEKTORU	1.69	1.7	1.71	1.71	1.72	1.72	1.74	1.74	1.75	1.77	1.77	1.79	bar
PROTOK ISPUŠNIH PLINOVA NA ULAZU U TURBO-PUHALO	86.82	86.85	87.2	87.6	88.2	88.47	88.8	89.17	89.45	90.2	90.9	91.85	ton/h
TEMP. ISPUŠNIH PLINOVA NAKON TURBO-PUHALA	239.77	240	240.5	241.2	241.8	242.17	242.49	243.2	243.7	244.3	244.67	245.1	°C
BROJ OKRETAJA TURBO-PUHALA	7255	7264	7275	7285	7300	7313	7331	7346	7375	7392	7428	7442	okr/min
SNAGA GLAVNOG MOTORA	16.75	16.76	16.78	16.78	16.79	16.78	16.80	16.81	16.83	16.84	16.86	16.85	MW
POLOŽAJ LETVE GORIVA	56.65	56.65	56.75	57	57	56.8	57.05	57.17	57.2	57.13	57.08	57.1	%
EKONOMIČNOST GORIVA	205.3	205.3	205.35	205.57	205.56	205.49	206.34	206.1	206.1	206.84	206.65	206.6	kg/nm

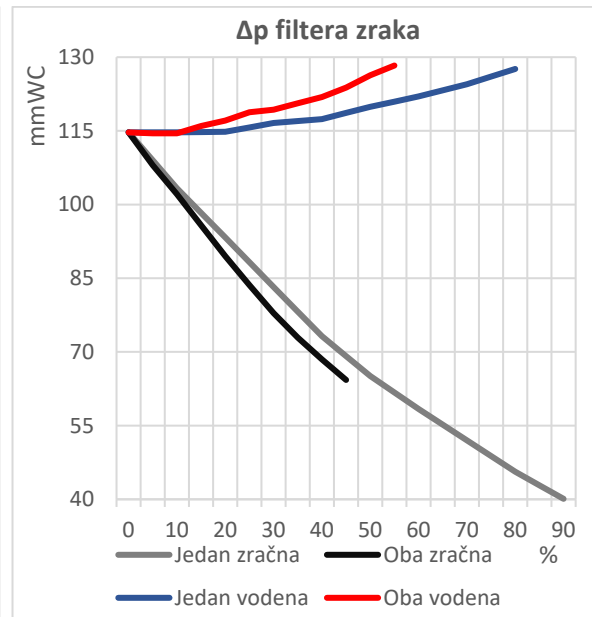
Onečišćenjem (>55%) vodene strane oba rashladnika zraka, automatika glavnog motora aktivira sigurnosni režim rada „slow down“ zbog visoke temperature ispirnog zraka u kolektoru (+80°C).

Usporedbom simulacija zaprljanja vodene strane oba rashladnika (tablica 4.) u odnosu na zaprljanje zračne strane oba rashladnika (tablica 2.), vidljiv je znatno manji utjecaj zaprljanja vodene strane na mjerne pozicije. To se može uočiti prema samom broju aktiviranih alarma, konstantnom brzinom vrtnje turbo-puhala te kasnijim reagiranjem zaštite glavnog motora.

5.3. DIJAGRAMI IZVEDENI NA TEMELJU TABLICA

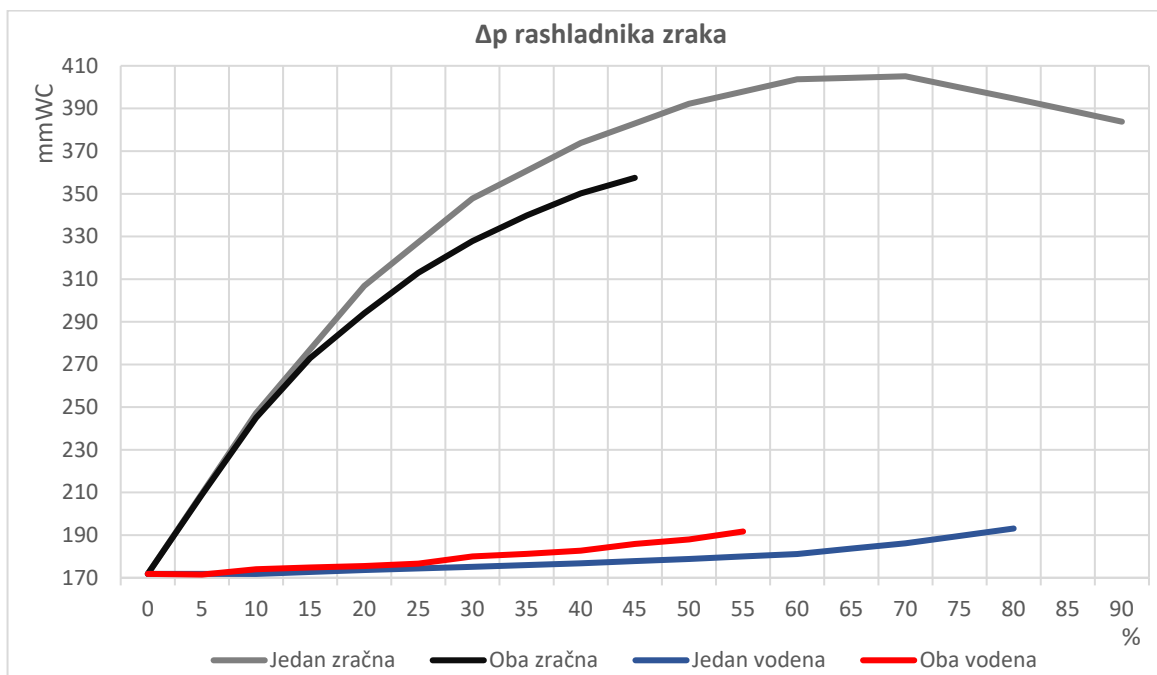


Slika 11. Protok kroz filter zraka



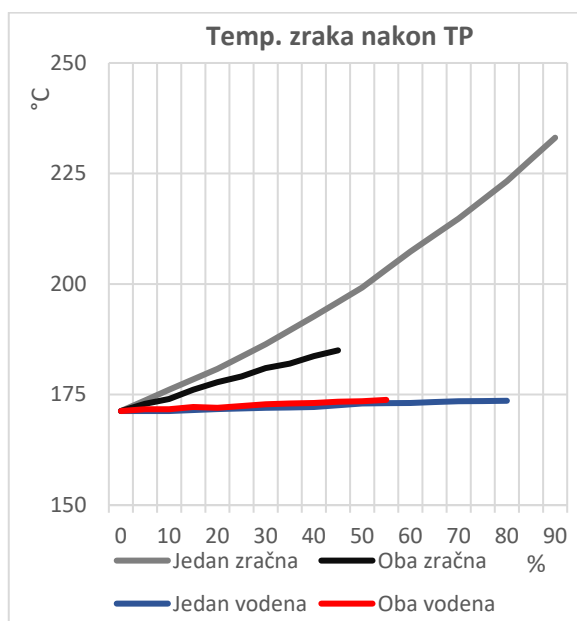
Slika 12. Δp filtra zraka

Usporedbom dijagrama protoka kroz filter zraka, odnosno kroz TP s dijagramom pada tlaka u filtru lako je uočiti sličnost položaja krivulja. Iz toga se može zaključiti da protok zraka raste ili pada, proporcionalno s padom tlaka u filtru zraka. Onečišćenjem zračne strane rashladnika protok zraka kroz filter vidno pada, dok kod vodene strane neznatno raste tj. zaprljanje vodene strane ima manji utjecaj na protok ispirnog zraka kroz TP.

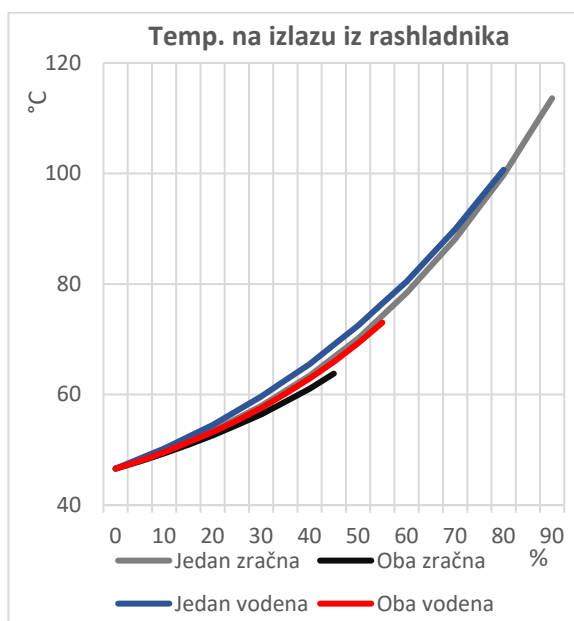


Slika 13. Δp rashladnika zraka

Slika 13. prikazuje pad tlaka u rashladniku zraka, izražen u milimetrima vodenog stupca, (mmWC) prilikom različitih onečišćenja. Veliki pad tlaka u rashladniku zraka stvara mnoge posljedice kao što su visoke temperature te niski tlak ispirnog zraka u kolektoru. To rezultira slabijim ispiranjem cilindara i visokim temperaturama ispušnih plinova. Uočljiva je značajna razlika u padu tlaka kada je riječ o zaprljanju zračne strane u odnosu na zaprljanje vodene strane. Uzrok toga je taloženje uljnih para nastalih isparavanjem uslijed visoke temperature komprimiranog zraka unutar TP te kondenzacijom u rashladniku zraka. Također propuštanje nečistoća kroz filter zraka može značajno utjecati na zaprljanje rashladnika, odnosno pad tlaka u rashladniku. Pogledom na dijagram može se uočiti smanjenje pada tlaka pri 65% onečišćenja zračne strane jednog rashladnika. Ova pojava moguća je jedino na sustavima gdje postoje dva ili više turbo-puhala. U slučaju začepjenja jednog rashladnika, ostala turbo-puhala pumpaju ispirni zrak na tlačnu stranu rashladnika zraka te time smanjuju razliku pada tlaka na rashladniku koji se zaprljao uslijed određenih nečistoća.



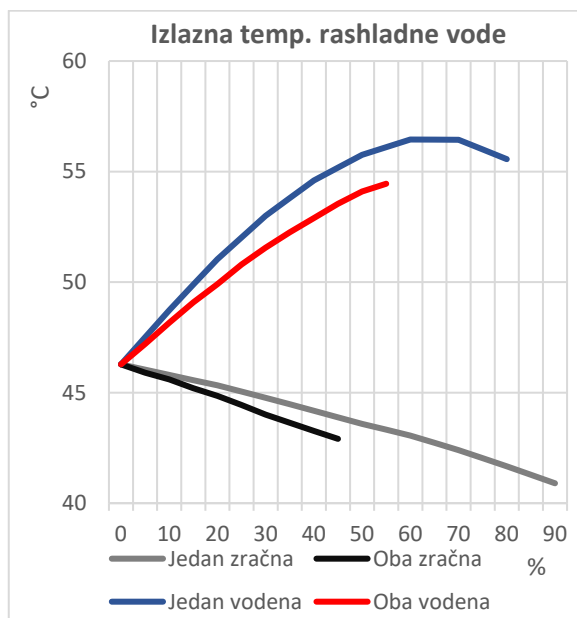
Slika 14. Temperatura ispirnog zraka nakon TP



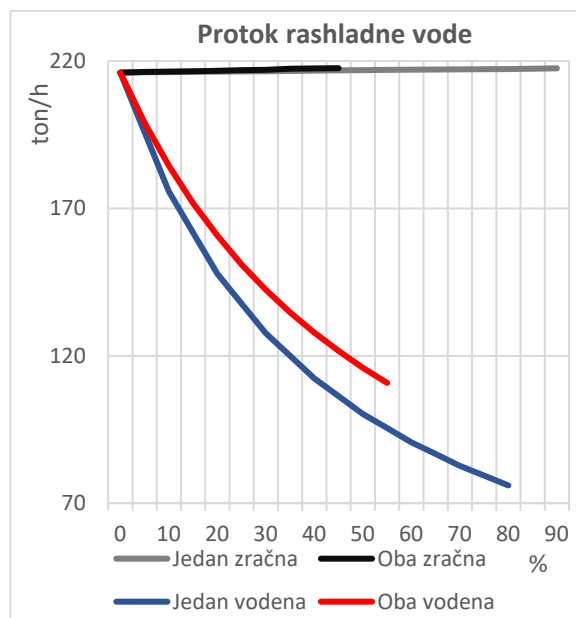
Slika 15. Temperatura ispirnog zraka nakon rashladnika

Dijagrami temperatura ispirnog zraka nakon turbo-puhala (Slika 14.) pokazuju kako zaprljanje vodene strane neznatno povisuje temperaturu ispirnog zraka na ulazu u rashladnik, dok kod zaprljanja zračne strane temperatura na ulazu u rashladnik znatno raste. To je posljedica taloženja nečistoća u kanalima rashladnika zraka te otežavanja strujanja kroz rashladnik, a time i povećanje tlaka u cjevovodu od turbo-puhala do rashladnika.

Na dijagramu temperature ispirnog zraka na izlazu iz rashladnika (Slika 15.) vidljiv je nagli porast temperature s bilo kojom promjenom u rashladniku zraka. Razlog je taloženje nečistoća u kanalima protoka zraka te tako otežavanja prijelaza topline s ispirnog zraka na rashladni medij ili sprječavanje protoka rashladnog medija kroz rashladnik uslijed nečistoća u cjevovodu rashladne tekućine.



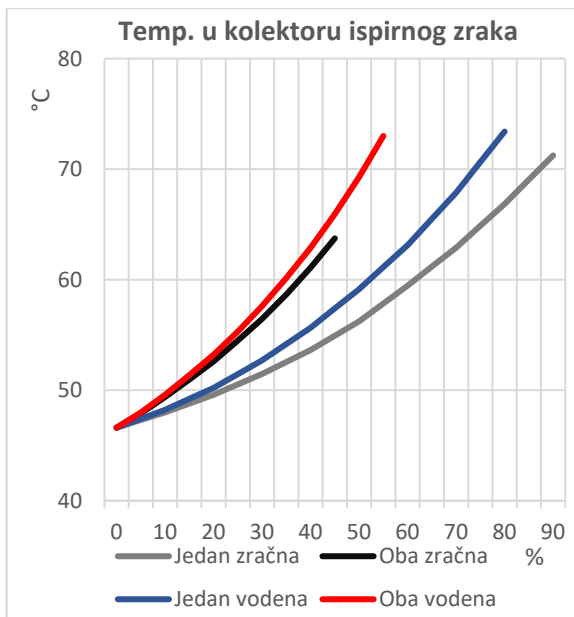
Slika 16. Izlazna temperatura rashladne vode



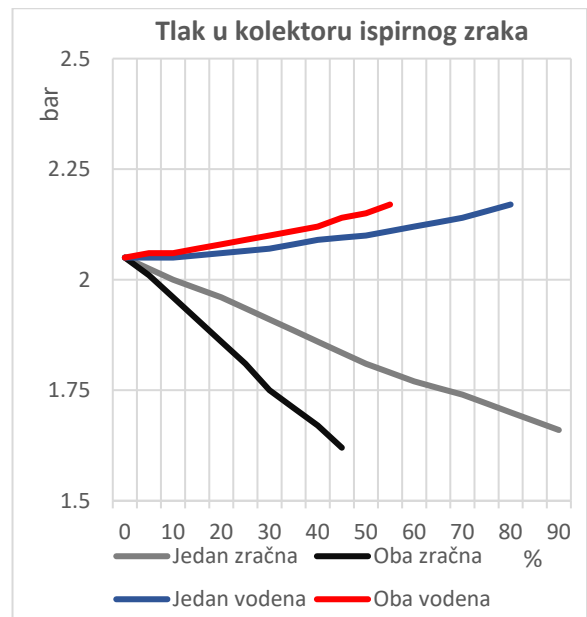
Slika 17. Protok rashladne vode

Onečišćenjem zračne strane rashladnika zraka, protok rashladne vode ostaje nepromijenjen, a temperatura pada zbog smanjenog protoka ispirnog zraka, odnosno smanjene izmjene topline.

Onečišćenjem vodene strane rashladnika zraka, protok rashladne vode značajno se smanjuje, a time se jednaka količina topline ispirnog zraka predaje na manju količinu rashladne vode po jedinici vremena. Rezultat toga je povišena temperatura rashladne vode na izlazu iz rashladnika. Također kao što je na slici 13. pri 60% onečišćenja vodene strane rashladnika dolazi do pada izlazne temperature rashladne vode zbog pada razlike tlaka između tlačne i izlazne strane zaprljanog rashladnika što direktno utječe na smanjenje temperaturnog opterećenja odnosno smanjuje toplinu koja se predaje vodi pa stoga temperatura rashladne vode pada.

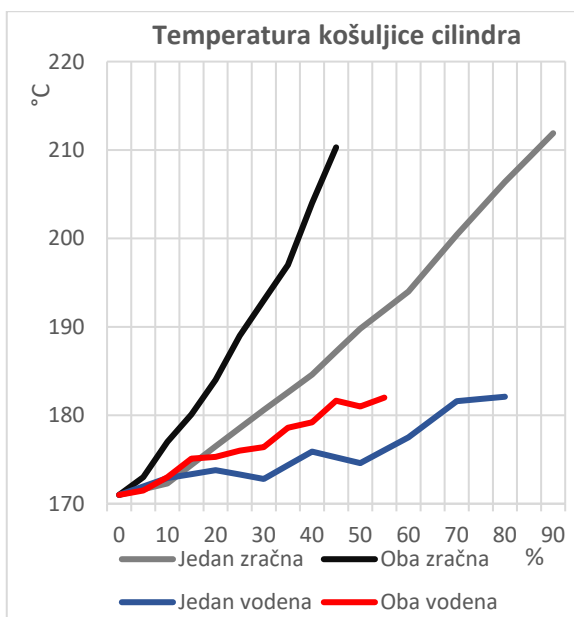


Slika 18. Temperatura u kolektoru isprinog zraka

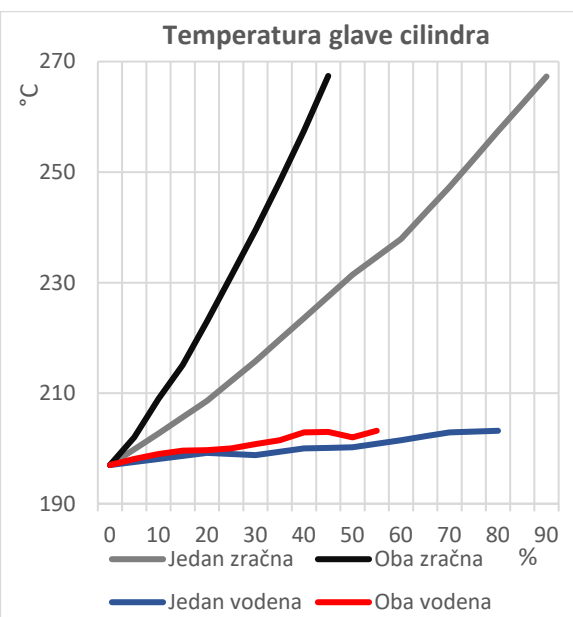


Slika 19. Tlak u kolektoru isprinog zraka

Slika 18. potvrđuje činjenicu da svako onečišćenje rashladnika zraka utječe na povišenje temperature isprinog zraka u kolektoru i time negativno utječe na snagu glavnog motora. Suprotno tome, tlak u kolektoru isprinog zraka (Slika 19.) pada isključivo s onečišćenjem zračne strane te kao posljedicu ima slabije ispiranje cilindra. Zaprijanjem vodene strane jednog ili oba rashladnika uočava se neznatni rast tlaka isprinog zraka u kolektoru isprinoga zraka, a razlog je povećana temperatura.

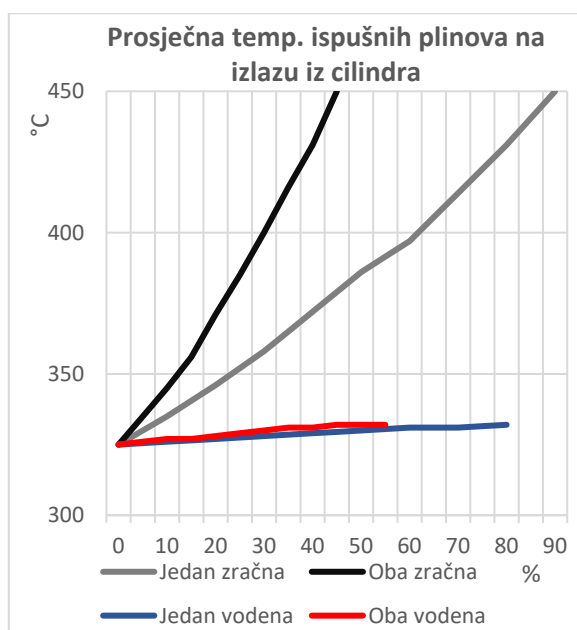


Slika 20. Temperatura košuljice cilindra

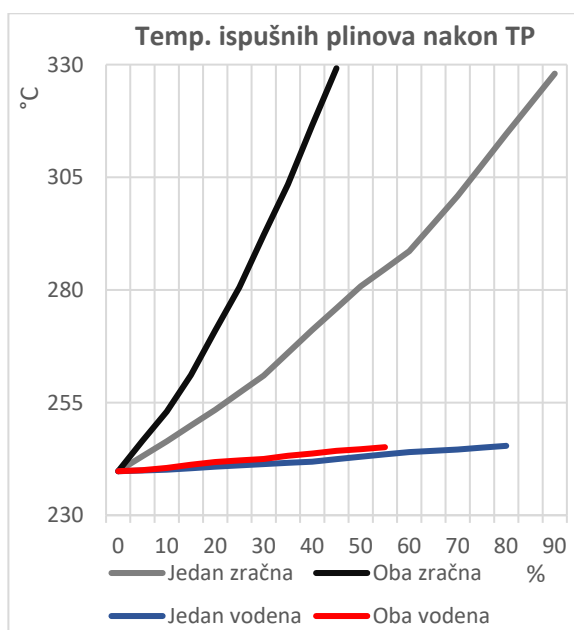


Slika 21. Temperatura glave cilindra

Na slikama 20. i 21. prikazan je porast temperatura glave i košuljice cilindra prilikom onečišćenja rashladnika zraka. Glavni utjecaj na toplinsko opterećenje dijelova cilindra je temperatura ispušnih plinova. Uslijed kasnijeg paljenja goriva dolazi do kašnjenja procesa izgaranja te relativno visokih temperatura ispušnih plinova u trenutku otvaranja ispušnog ventila. Time dolazi do velikih toplinskih opterećenja košuljice cilindra, glave cilindra i ispušnog ventila.



Slika 22. Prosječna temp. ispušnih plinova na izlazu iz cilindra

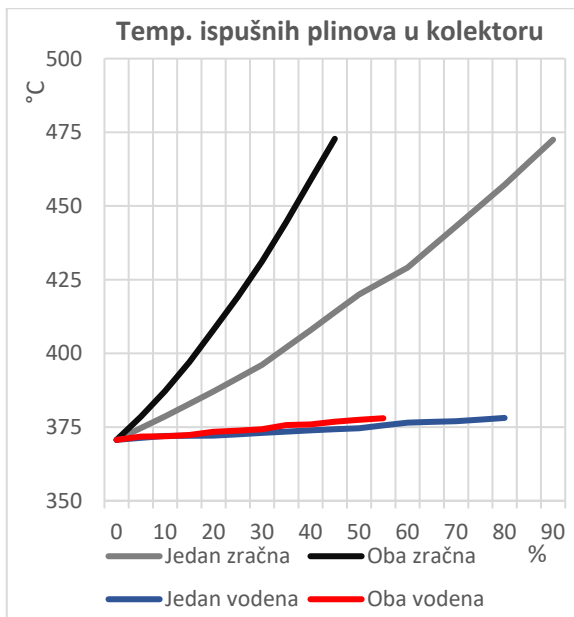


Slika 23. Temp. ispušnih plinova nakon TP

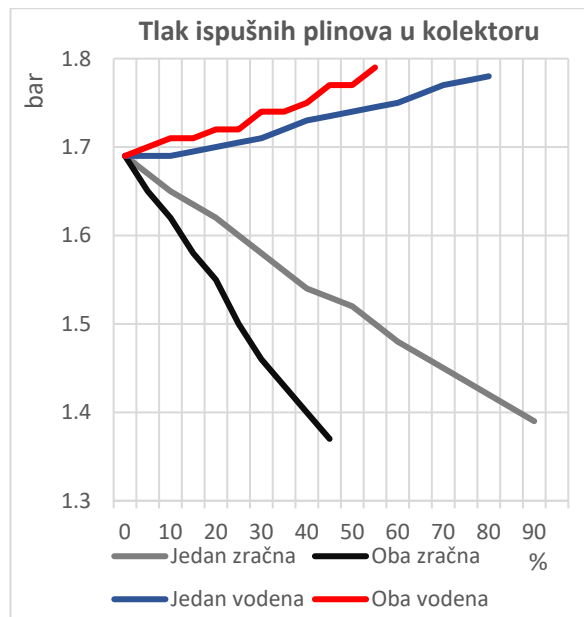
Iz dijagrama temperature ispušnih plinova na izlazu iz cilindra (Slika 22.) vidljiv je nagli porast temperature ispušnih plinova pri onečišćenju zračne strane rashladnika zraka, dok kod vodene strane taj je porast skoro beznačajan. Razlog tome je visoka temperatura ispirnog zraka na ulazu u cilindar.

Visoka temperatura ispušnih plinova na izlazu iz cilindra jedan je od glavnih alarma koji uzrokuju „slow down“ glavnog motora.

Usporedbom dijagrama uočava se gotovo isti položaj krivulja, što znači da temperatura na izlazu iz turbo-puhala raste proporcionalno s temperaturom ispušnih plinova na izlazu iz cilindra.



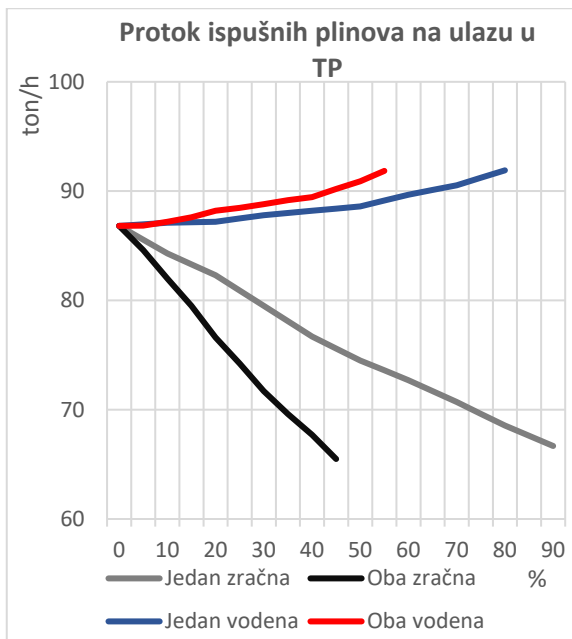
Slika 24. Temperatura ispušnih plinova u kolektoru



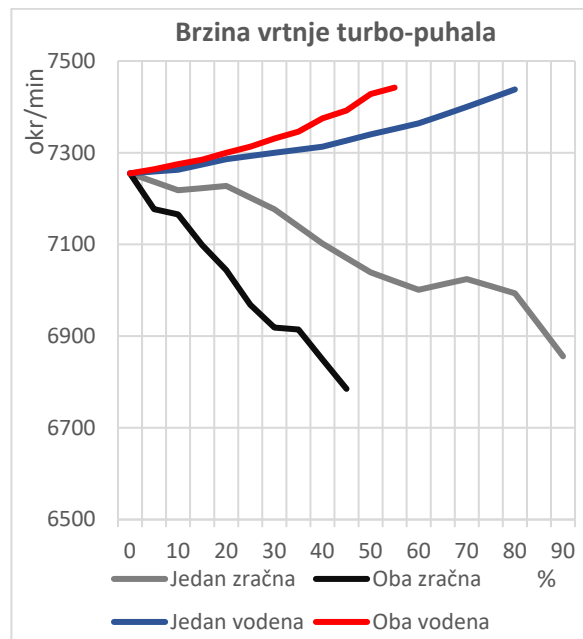
Slika 25. Tlak ispušnih plinova u kolektoru

Prilikom onečišćenja zračne strane rashladnika zraka temperatura ispušnih plinova raste dok tlak pada. Padom tlaka ispirnog zraka dolazi do manjeg tlaka kompresije u cilindru, a time i manje temperature komprimiranog zraka u trenutku ubrizgavanja goriva u cilindar te zbog toga dolazi do težeg odnosno kasnijeg paljenja goriva. Rezultat toga je kasniji i manji porast tlaka u cilindru, manji srednji indicirani tlak odnosno manja snaga te u konačnici veće temperature ispušnih plinova.

Kod onečišćenja vodene strane rashladnika zraka nema velike promjene u stanju ispušnog plina u kolektoru kao kod onečišćenja zračne strane. Temperatura i tlak ispušnih plinova neznatno rastu.

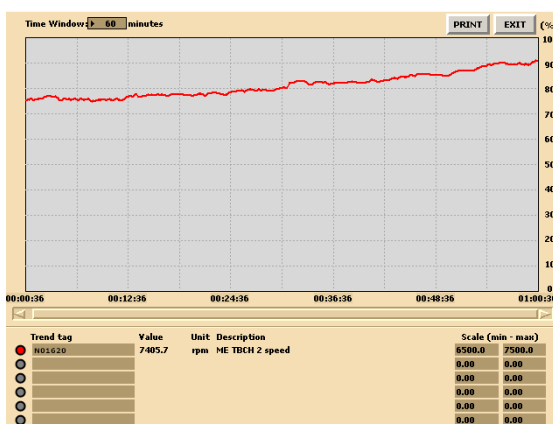


Slika 26. Protok ispušnih plinova na ulazu u TP

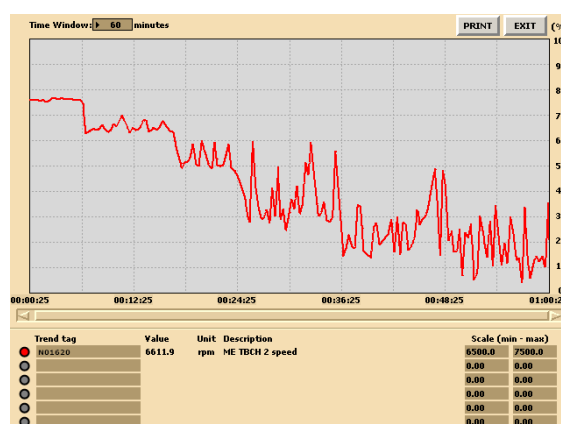


Slika 27. Brzina vrtnje turbo-puhala

Slika 26. prikazuje protok ispušnih plinova od izlaza iz kolektora do turbinske strane turbo-puhala. Vidljivo je kako pri onečišćenju vodene strane rashladnika brzina protoka ispušnih plinova neznatno raste, dok kod onečišćenja zračne strane pada. Posljedica toga može se vidjeti na slici 27., odnosno na brzini vrtnje turbo-puhala. Prilikom onečišćenja zračne strane dolazi do smanjenog protoka ispušnih plinova, a samim time i manje brzine vrtnje turbo-puhala. Kod zaprljanja vodene strane rastu temperature ispirnoga zraka što utječe na veće temperature ispušnih plinova dok se količina ne mijenja. Budući da na TP dolazi veća energija ispušnih plinova ono se brže vrti.



Slika 28. Brzina vrtnje TP pri onečišćenju vodene strane rashladnika zraka



Slika 29. Brzina vrtnje TP pri onečišćenju zračne strane rashladnika zraka

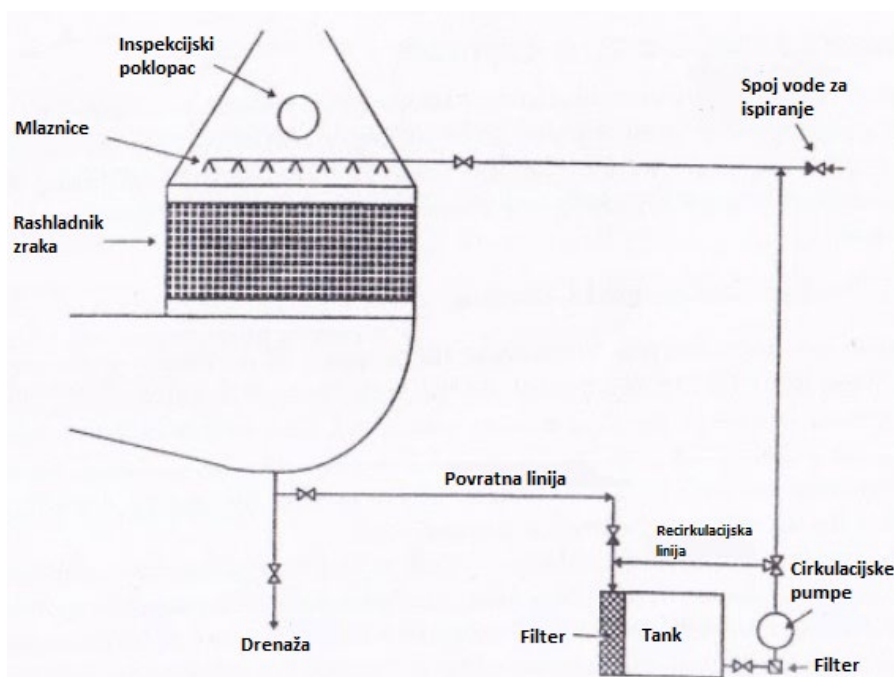
Dijagramima na slikama 28. i 29. prikazani su različiti utjecaji na rad TP prilikom onečišćenja vodene strane te zračne strane rashladnika zraka. Analizirajući dijagrame vidljivo je kako za vrijeme onečišćenja vodene strane brzina vrtnje TP kontinuirano raste, dok kod zaprljanja zračne strane brzina vrtnje ima velike oscilacije uz tendenciju pada brzine vrtnje.

Oscilacije na slici 27. nije moguće prikazati te je brzina vrtnje turbo-puhala izračunata s prosječnom vrijednosti oscilacija za određeni postotak zaprljanja.

5.4. ODRŽAVANJE RASHLADNIKA ZRAKA

Održavanje rashladnika zraka sastoji se od čišćenja kanala zračne strane te cjevovoda vodene strane. Ako je riječ o rashladniku zraka čiji je rashladnij medij morska voda, dodatno treba pregledati stanje anodnih protektora koji sprječavaju reakciju galvanske struje unutar sistema.

Zračna strana postepeno se onečišćuje uljnim ostacima dovedenim iz TP te sitne prašine iz zraka koja prođe kroz filter TP, koje se mogu prikazati uz pomoću razlike tlakova. Upravo ta razlika tlakova prvi je indikator za neophodnim čišćenjem rashladnika zraka. Čišćenje zračne strane može se obaviti na više načina, a jedan od osnovnih izvedbi na velikim brodskim dvotaktnim dizel motorima je pomoću sustava za čišćenje rashladnika zraka (eng. „air cooler cleaning system“).



Slika 30. Sustav čišćenja rashladnika zraka [10]

U ovom sustavu čišćenja zračne strane rashladnika zraka koristi se specijalna kemikalija koju propisuje proizvođač rashladnika te se toga treba strogo pridržavati, zbog osjetljivosti materijala od kojih je izrađena unutrašnjost rashladnika zraka. Prije početka čišćenja potrebno je ispustiti nastali kondenzat u kaljužne tankove, a potom zatvoriti drenažni ventil kako bi se sustav postavio u cirkulaciju. Kemijsko sredstvo za čišćenje može cirkulirati sistemom u nerazrijeđenom stanju i trebala bi cirkulirati najmanje 12 sati, ovisno o stupnju onečišćenja. Nakon pranja kiselinom potrebno je spojiti slatku vodu na cjevovod sustava te detaljno isprati rashladnik pomoću postavljenih mlaznica unutar kućišta rashladnika.

Kod čišćenja zračne strane rashladnika zraka manjih dimenzija najčešće se primjenjuje metoda demontiranja rashladnika i metoda postavljanja u natopljenu kadu. Rashladnik zraka se u posebnom otapalu pročišćava od naslaga te mogućih krutih nečistoća. Također, postoji metoda ultrazvučnog čišćenja zračne strane [10].



Slika 31. Metoda čišćenja rashladnika zraka u kadi s otapalom [11]

Isto tako, važno je da su cijevi vodene strane rashladnika tretirane posebnim četkama prilikom čišćenja. Pravilnom uporabom sredstava za čišćenje sprječavaju se moguća oštećenja, a istovremeno se otklanjaju mekane naslage i sluz na stijenkama cjevovoda. Međutim, cjevovodi na brodovima najčešće zahtijevaju čišćenje s određenim kiselinama zbog nepristupačnosti dijelova cjevovoda, jer su složeni od brojnih prijelaza, suženja, filtara, itd. Pritom se treba paziti na odabir kiseline kako ne bi došlo do oštećenja cijevi.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu može se uočiti da rashladnik zraka značajno utječe na pravilan rad te snagu glavnog motora, a time direktno na ekonomičnost samog broda. U današnjim uvjetima poznato je kako je ekonomičnost stavka koja je u interesu svakog broдача. Iz te činjenice možemo zaključiti važnost redovitog održavanja rashladnika zraka.

Kako je riječ o izmjenjivaču topline gdje se predaje toplina s ispirnog zraka na nisko-temperaturni krug slatke vode, jasna je moguća pojava onečišćenje zračne strane, kao i vodene. Prilikom onečišćenja zračne strane rashladnika zraka vidljiv je značajno veći utjecaj na rad glavnog motora u odnosu na onečišćenje vodene strane. U izvedbama kada se ispirni zrak hladi direktno morskom vodom, zaprljanje vodene strane, kao i stvaranje kamenca unutar cijevi, su znatno češće i intenzivnije te zahtijevaju dodatni napor kod održavanja rashladnika.

Prvi i osnovni parametar koji upućuje na moguće onečišćenje zračne strane rashladnika zraka je razlika tlakova na ulazu i izlazu ispirnog zraka iz rashladnika. Posljedice onečišćenja zračne strane uglavnom su visoke temperature ispušnih plinova uslijed čega glavni motor prelazi u sigurnosni režim rada „slow down“. Također, zbog oscilacija u protoku ispušnih plinova rad turbo-puhala nije konstantan, već dolazi do pada brzine vrtnje uz velike oscilacije te nemiran rad. Padom brzine vrtnje turbo-puhala, tlak ispirnog zraka nije dovoljan za potpuno ispiranje te u konačnici rezultira padom snage glavnog motora.

Onečišćenje vodene strane na simulatoru može se uočiti na temelju protoka nisko-temperaturnog kruga slatke vode kroz rashladnik. Međutim, takav mjerni instrument na brodu je rijetkost te se onečišćenje vodene strane manifestira na temelju tlaka vode na ulazu u rashladnik te razlike ulazne i izlazne temperature vode. Posljedice onečišćenja vodene strane uglavnom su visoke temperature ispirnog zraka uslijed koje dolazi do „slow down-a“.

Usporedbom onečišćenja zračne u odnosu na vodenu stranu, da se zaključiti da su posljedice onečišćenja vodene strane mnogo manje te reagiraju kasnije. Turbo-puhalo nema oscilacije brzine vrtnje, kao što je slučaj pri onečišćenju zračne strane te uspijeva komprimirati ispirni zrak u normalnom režimu rada sve do sigurnosne aktivacije „slow down“.

LITERATURA

- [1] <http://tmemaritime.blogspot.com/2017/05/scavenging-marine-diesel-engine.html>
- [2] <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/9/1719/htm>
- [3] Kees Kuiken – Diesel Engines 1
- [4] <https://marineengineeringonline.com/tag/purpose-of-charge-air-cooler-on-ships/>
- [5] https://www.alibaba.com/product-detail/Charge-Air-cooler-Wartsila-main-engine_60708615573.html
- [6] <https://btamotorsports.com.au/shop/600x300x76-bar-plate-intercooler-street-pro/>
- [7] Osobni izvori
- [8] WÄRTSILÄ Engines – Wärtsilä 26 – Product Guide
- [9] KONGSBERG SIMULATOR – ERS L11 5L90MC – VLCC_Version MC90-V
- [10] <https://marinenotes.blogspot.com/2012/08/air-coolers-and-cleaning.html?m=0>
- [11] <http://www.uniturbin.com/marine/engine/aircooler/chemical-and-ultrasonic-cleaning>

POPIS SLIKA

Slika 1: Sustavi ispiranja [1].....	2
Slika 2: Uzdužno ispiranje [2].....	3
Slika 3: Cijevni tip rashladnika zraka [5].....	5
Slika 4: Rashladnik zraka hlađen zrakom [6].....	6
Slika 5: Cijev dovoda komprimiranog zraka u rashladnik [7].....	7
Slika 6: Rashladnik zraka odvojen od glavnog motora [7].....	8
Slika 7: Dijagram kondenzacije u rashladniku zraka [8].....	9
Slika 8: Shema sustava ispirnog zraka [9].....	11
Slika 9: Shema sustava hlađenja slatkom vodom [9].....	12
Slika 10: Otvoreni indikatorski dijagram – tlak/kut koljeničastog vratila prilikom pravilnog rada motora [9].....	14
Slika 11: Protok kroz filter zraka.....	20
Slika 12: Δp filtera zraka.....	20
Slika 13: Δp rashladnika zraka.....	20
Slika 14: Temperatura ispirnog zraka nakon TP.....	21
Slika 15: Temperatura ispirnog zraka iz rashladnika.....	21
Slika 16: Izlazna temperatura rashladne vode.....	22
Slika 17: Protok rashladne vode.....	22
Slika 18: Temperatura u kolektoru ispirnog zraka.....	23
Slika 19: Tlak u kolektoru ispirnog zraka.....	23
Slika 20: Temperatura košuljice cilindra.....	23
Slika 21: Temperatura glave cilindra.....	23
Slika 22: Prosječna temp. ispušnih plinova na izlazu iz cilindra.....	24

Slika 23: Temp. ispušnih plinova nakon TP.....	24
Slika 24: Temperatura ispušnih plinova u kolektoru.....	25
Slika 25: Tlak ispušnih plinova u kolektoru.....	25
Slika 26: Protok ispušnih plinova na ulazu u TP.....	26
Slika 27: Brzina vrtnje turbo-puhala.....	26
Slika 28: Brzina vrtnje TP pri onečišćenju vodene strane rashladnika zraka.....	26
Slika 29: Brzina vrtnje TP pri onečišćenju zračne strane rashladnika zraka.....	26
Slika 30: Sustav čišćenja rashladnika zraka [10].....	27
Slika 31: Metoda čišćenja rashladnika zraka u kadi s otapalom [11].....	28

POPIS TABLICA

Tablica 1: Tablica mjernih pozicija pri onečišćenju zračne strane jednog rashladnika [7].....	16
Tablica 2: Tablica mjernih pozicija pri onečišćenju zračne strane oba rashladnika [7].....	17
Tablica 3: Tablica mjernih pozicija pri onečišćenju vodene strane jednog rashladnika [7]...	18
Tablica 4: Tablica mjernih pozicija pri onečišćenju vodene strane oba rashladnika [7].....	19