

# Utjecaj cilindarskog podmazivanja na rad glavnog motora

---

**Blažević, Loris**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:187:300273>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-06-29**



**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](#)



**uniri** DIGITALNA  
KNJIŽNICA



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**LORIS BLAŽEVIĆ**

**UTJECAJ CILINDARSKOG PODMAZIVANJA NA RAD  
GLAVNOG MOTORA**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, travanj 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**UTJECAJ CILINDARSKOG PODMAZIVANJA NA RAD  
GLAVNOG MOTORA  
INFLUENCE OF CYLINDER LUBRICATION ON MAIN  
ENGINE OPERATION**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Rad na simulatoru 1

Mentor: Prof.dr.sc. Dean Bernečić

Student: Loris Blažević

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112076235

Rijeka, travanj 2023.

Student: Loris Blažević

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112076235

### IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom „UTJECAJ CILINDARSKOG PODMAZIVANJA NA RAD GLAVNOG MOTORA“ izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Deana Bernečića.

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog 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 : LORIS BLAŽEVIĆ



---

(potpis)

Student: Loris Blažević

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112076235

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)

## **SAŽETAK**

U ovom radu objašnjene su važne karakteristike cilindarskih ulja, opisani su glavni dijelovi sustava za podmazivanje cilindara, njihov princip rada te u konačnici i utjecaj cilindarskog ulja na rad glavnog motora. Testiranja rada takvog sustava provedena su na Kongsberg simulatoru (MC90-V) prateći ponašanje sustava pod utjecajem raznih količina cilindarskog ulja u cilindru, počevši od najmanje vrijednosti (10%) pa sve do najviše (100%) dok je motor u tzv. „Full Ahead“ režimu rada i brod opterećen s maksimalnim kapacitetom tereta.

Ključne riječi: cilindarsko ulje, dvotaktni brodski motor, cilindar, košuljica, stap, stapni prstenovi, podmazivanje cilindara

## **SUMMARY**

In this final paper important characteristics of cylinder oils are explained, main parts of cylinder lubrication system and their working principle are described and finally the influence of cylinder oil on the operation of the main engine is described. Testing of such system was carried out on a Kongsberg simulator (MC90-V), following the behaviour of the system under the influence of various amounts of cylinder oil in the cylinder, starting from the lowest value (10%) up to the highest (100%) while the engine is in „Full Ahead“ mode of operation and the ship is loaded with maximum cargo capacity.

Keywords: cylinder oil, two stroke marine engine, cylinder, liner, piston, piston rings, cylinder lubrication

## SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>II</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>II</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>III</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. SUSTAV CILINDARSKOG PODMAZIVANJA</b> .....	<b>2</b>
<b>3. CILINDARSKA ULJA ZA BRODSKE MOTORE</b> .....	<b>3</b>
3.1. UKUPNI BAZNI BROJ.....	4
3.2. VISKOZITET .....	4
3.3. UKUPNI KISELINSKI BROJ.....	5
3.4. TALUSIA UNIVERSAL .....	6
3.5. TALUSIA HR 70 .....	6
<b>4. MAN ALPHA SUSTAV PODMAZIVANJA</b> .....	<b>7</b>
4.1. GLAVNI DIJELOVI SUSTAVA .....	7
4.1.1. Pumpna stanica .....	7
4.1.2. Lubrifikatori .....	8
4.1.3. Glavna upravljačka jedinica .....	8
4.1.4. Sučelje .....	9
4.2. PRINCIP RADA SUSTAVA.....	10
<b>5. UTJECAJ CILINDARSKOG ULJA</b> .....	<b>11</b>
5.1. ADHEZIVNO TROŠENJE.....	11
5.2. ABRAZIVNO TROŠENJE.....	11
5.3. HLADNA KOROZIJA .....	12
5.4. KOLIČINA CILINDARSKOG ULJA.....	13
<b>6. MJERENJA</b> .....	<b>15</b>
6.1. POMAK PRSTENOVA.....	16
6.2. BRTVLJENJE PRSTENOVA .....	17
6.3. PROMJENE TEMPERATURA .....	18
6.4. STUPNJEVI KOLJENIČASTOG VRATILA.....	19
6.5. PROMJENA TLAKOVA .....	20
6.6. SPECIFIČNA POTROŠNJA GORIVA.....	21
6.7. SADRŽAJ NO <sub>x</sub> .....	22

<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>23</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>24</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>25</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>26</b>



## 1. UVOD

Sustav podmazivanja cilindara kod brodskih dvotaktnih sporookretnih motora je vrlo važan čimbenik u eksploataciji.

Proizvodnja cilindarskih ulja je dio multidisciplinarnog područja u čijem razvoju sudjeluju razna područja kao što su kemijsko inženjerstvo i tribologija s ciljem dobivanja optimalnog ulja što se proširuje i na područje koje uključuje i projektante brodskih motora te na kraju i časnike stroja koji održavaju te motore.

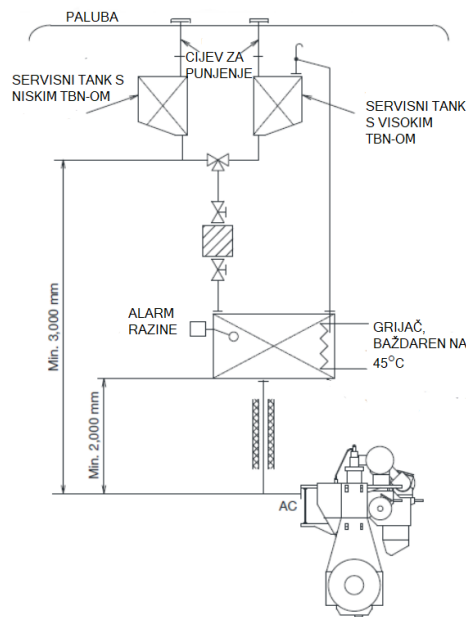
Najveći problem kod takvih motora jest stvaranje hladne korozije te sumporne i sumporaste kiseline koja uzrokuje povećano trošenje stapnih prstenova i košuljice cilindara. Da bi se to spriječilo ili držalo pod kontrolom vrlo je važno imati ispravnu tj. zadovoljavajuću količinu cilindarskog ulja za podmazivanje.

Zbog toga je na brodu sustav za podmazivanje cilindara od izuzetnog značaja iz razloga što je ispravno funkcioniranje takvog sustava neophodno za pravilan rad i dugotrajnost brodskih motora.

Cilj ovog rada je istražiti utjecaj količine doziranja cilindarskog ulja na glavne parametre motora te pokušati pronaći optimalnu količinu podmazivanja u cilju smanjenja troškova održavanja uzrokovana povećanim trošenjem stapnih prstenova, košuljice, kao i smanjenja potrošnje goriva.

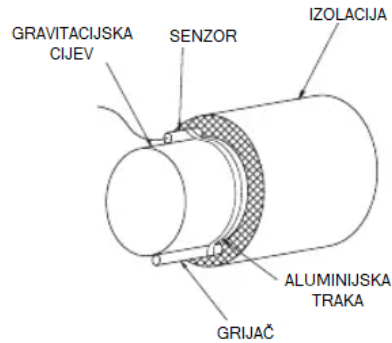
## 2. SUSTAV CILINDARSKOG PODMAZIVANJA

Cilindri kod dvotaktnih motora se podmazuju s posebnim sustavom podmazivanja, na način da se svježe ulje za podmazivanje izravno dovodi u cilindre kako bi se osiguralo podmazivanje košuljice, stupnih prstenova i stapa. Najvažnija uloga ovog sustava je smanjiti korozivno trošenje neutralizacijom kiselosti produkata izgaranja.



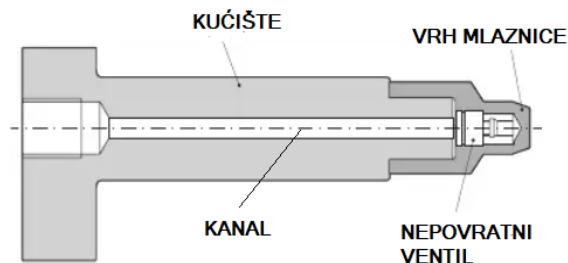
Slika 1: Sustav cilindarskog podmazivanja [11]

- Ulje za podmazivanje cilindara se čuva u skladišnom spremniku. Na brodu se najčešće nalaze dva skladišna tanka, jedan za ulje sa većim TBN – om, a jedan sa manjim iz kojih se, pomoću dobavne pumpe ili slobodnim padom puni u servisni (dnevni) tank.
- Prije ulaska u dnevni (servisni) tank ulje prolazi kroz filter. Kapacitet dnevnog tanka je za približno 48 sati rada pri normalnoj potrošnji cilindarskog ulja te se tank najčešće nalazi u strojarnici.
- Do pumpne stanice, ulje iz servisnog tanka najčešće dolazi gravitacijom.
- Gravitacijska cijev koja spaja dnevni tank i pumpe za podmazivanje može biti obložena grijačem koji održava konstantnu temperaturu od 45° C.



Slika 2: Gravitacijska cijev [7]

- Nakon pumpne stanice, ulje dolazi do lubrikatora koji određenu količinu ulja tlače do mazalica koje ga jednoliko raspršuju po obodu košuljice.



Slika 3: Mazalica [8]

Prije starta glavnog motora potrebno je prethodno podmazati košuljice što se može izvršiti i ručno. Dio ulja izgori zajedno s gorivom, a dio se sakuplja u podstapnom prostoru odakle se mora periodički ručno čistiti zajedno s ostalim talogom (eng. „sludge“).

### 3. CILINDARSKA ULJA ZA BRODSKE MOTORE

Cilindarska su ulja neophodna za dvotaktne motore. Današnja ulja za cilindre izrađena su pomoću kompleksne kemije, te se stoga, za svaku marku, klasu viskoznosti i razinu baznog broja (eng. „TBN“), mora procijeniti individualna količina ubrizgavanja.

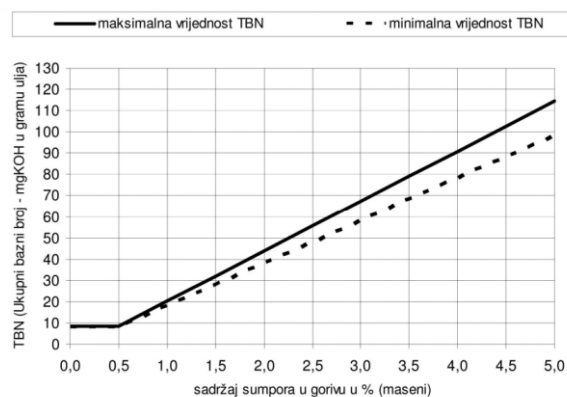
Svrha cilindarskih ulja je zaštita košuljice, stapa i stapnih prstenova od štetnih učinaka sumporne i sumporaste kiseline, te stvaranje uljnog filma između stapnih prstenova i košuljice kako bi se smanjilo trenje. Osim toga služe i za kontrolu stupnja korozije na površini košuljice te moraju biti u stanju nositi se s puno težim uvjetima u odnosu na

kartersko ulje, kako u smislu kiselosti teškog goriva tako i u smislu puno viših temperatura u komori za izgaranje [1].

### 3.1. UKUPNI BAZNI BROJ

Ukupni bazni broj (eng. „Total Base Number“ – TBN) jedan je od bitnijih čimbenika prilikom odabira cilindarskog ulja. TBN je alkalni sadržaj u ulju, izražen u miligramima kalijevog hidroksida (KOH) po gramu ulja (mgKOH/g), pokazatelj je količine baznog rezervnog aditiva dostupnog za neutralizaciju jakih kiselina koje nastaju kod izgaranja (sumporna i sumporasta kiselina). Bez ove bazne rezerve, jake kiseline koje se nakupljaju unutar prostora izgaranja (košuljice) mogu rezultirati korozivnim trošenjem.

Kod dvotaktnih brodskih sporookretnih motora s niskom potrošnjom cilindarskog ulja (manje od 1g/kWh), TBN mora imati vrijednost od 50 do 55 (u ekstremnim slučajevima i do 70), a za najlošija ostatna goriva koristi se cilindarsko ulje s TBN – om od 60 do 100 [2].



Slika 4: Graf količine TBN – a u odnosu na postotak sumpora u gorivu [2]

### 3.2 VISKOZITET

Viskozitet je sposobnost tekućine da se odupire kretanju ili protoku. To je jedno od najvažnijih svojstava ulja za podmazivanje. Manje viskozna ulja mogu lakše proći kroz manja područja s manjim razmacima dok mazivo ulje s većom viskoznošću ne može. Stoga je potrebno imati ulje za podmazivanje koje nema ni previsoku niti prenisku viskoznost. Danas su uobičajena cilindarska ulja veće gradacije viskoznosti i to od 20 do 24 cSt pri 100°C. Kako se viskoznost mijenja s temperaturom, ipak pri povećanoj temperaturi

košuljice cilindra, razlika između donje i gornje granice viskoznosti ulja gradacije SAE 50 je minimalna (2 – 3,5 cSt pri 100°C) [2].

SAE	Kinematska viskoznost pri 100 °C, mm <sup>2</sup> /s	TBN mg KOH/g
Visokokvalitetno cilindarsko mineralno ulje jednokratne uporabe, specijalno razvijeno za podmazivanje klipova i cilindara sporokretnih dizelovih motora koji se koriste u brodskoj propulziji. Visoka alkalna rezerva ulja omogućava uporabu teških ostatnih goriva s visokim sadržajem sumpora.		
50	19,5	70,0
Visokokvalitetno višenamjensko mineralno motorno ulje namijenjeno podmazivanju cilindara i sustava kartera srednjokretnih dizelovih brodskih motora bez križne glave, koji troše ostatna brodska goriva i koji zbog oštih uvjeta rada zahtijevaju višu alkalnu rezervu ulja. Zadovoljava zahtjeve specifikacije API CF.		
30	18,8	40,0
40	14,5	40,0
Visokokvalitetno višenamjensko mineralno motorno ulje namijenjeno podmazivanju cilindara i sustava kartera sporokretnih dizelovih brodskih motora bez križne glave, koji troše ostatna brodska goriva sa sadržajem sumpora do 3,5% m/m. Može se upotrijebiti i za podmazivanje reduktora, ležajeva statvene cijevi, palubne i ostale opreme. Zadovoljava zahtjeve specifikacije API CF.		
30	11,8	30,0
40	14,5	30,0

Slika 5: Tablica viskoznosti [2]

### 3.3. UKUPNI KISELINSKI BROJ

Kiselinski broj (“Acid Number” – AN) je količina kiseline i kiselinskih tvari u ulju. Kako se ulja koriste u eksploataciji, kisele komponente se stvaraju i nakupljaju u ulju čime se povećava kiselinski broj. Oksidacija ima najveći utjecaj na povećanje kiselinskog broja. Kiselinski broj je stabilan dok se bazni broj ne smanji na dovoljnu razinu koja će uzrokovati povećanje kiselinskog broja. Postoje razne vrste kiselina u ulju kao što su:

- Organske kiseline koje predstavljaju oksidaciju,
- Sumporne kiseline koje su općenito rezultat sumpora u teškom gorivu,
- Dušične kiseline koje nastaju propuhivanjem motora [3].

### 3.4. TALUSIA UNIVERSAL

Talusia Universal je cilindarsko ulje od proizvođača Total Lubmarine koje je razvijeno radi pojednostavljenja cilindarskog podmazivanja. Osigurava brzu i učinkovitu neutralizaciju sumporne i sumporaste kiseline. Dizajnirano je za podmazivanje dvotaktnih dizelskih motora koji koriste goriva od 0,0% do 1,5% Sumpora [4].

TEHNIČKI PODACI: TALUSIA UNIVERSAL			
KARAKTERISTIKE	METODE	JEDINICE	TIPIČNE VRIJEDNOSTI
S.A.E Gradacija	-	-	50
Gustoća pri 15° C	ISO 3675	kg/m <sup>3</sup>	930
Kinematska viskoznost pri 100° C	ISO 3104	mm <sup>2</sup> /s	19
Temperatura paljenja	ASTM D 92	° C	>230
Temperatura tečnosti	ISO 3016	° C	-9
Bazni broj	ASTM D 2896	mgKOH/g	57

Tablica 1: Tehnički podaci : Talusia Universal [4]

### 3.5. TALUSIA HR 70

Talusia HR 70 je također cilindarsko ulje proizvođača Total Lubmarine koje je posebno dizajnirano za podmazivanje sporookretnih dvotaktnih motora koji koriste teška goriva s visokim udjelom sumpora. Također zadovoljava zahtjeve i preporuke velike većine proizvođača brodskih motora. Visoki TBN održava zaštitu cilindra tijekom dužih razdoblja te sprječava nastanak korozije koja je posljedica stvaranja sumporne i sumporaste kiseline [5].

TEHNIČKI PODACI: TALUSIA HR 70			
KARAKTERISTIKE	METODE	JEDINICE	TIPIČNE VRIJEDNOSTI
S.A.E Gradacija	-	-	50
Gustoća pri 15° C	ISO 3675	kg/m <sup>3</sup>	940
Kinematska viskoznost pri 100° C	ISO 3104	mm <sup>2</sup> /s	120
Temperatura paljenja	ASTM D 92	° C	>230
Temperatura tečnosti	ISO 3016	° C	-9
Bazni broj	ASTM D 2896	mgKOH/g	70

Tablica 2: Tehnički podaci : Talusia HR 70 [5]

## 4. MAN ALPHA SUSTAV PODMAZIVANJA

Kao primjer rada sustava cilindarskog podmazivanja uzet je Alpha sustav podmazivanja tvrtke MAN.

### 4.1. GLAVNI DIJELOVI SUSTAVA

Glavni dijelovi MAN ALPHA sustava cilindarskog podmazivanja su:

- Pumpna stanica,
- Lubrifikatori,
- Glavna upravljačka jedinica,
- Sučelje.

#### 4.1.1. Pumpna stanica

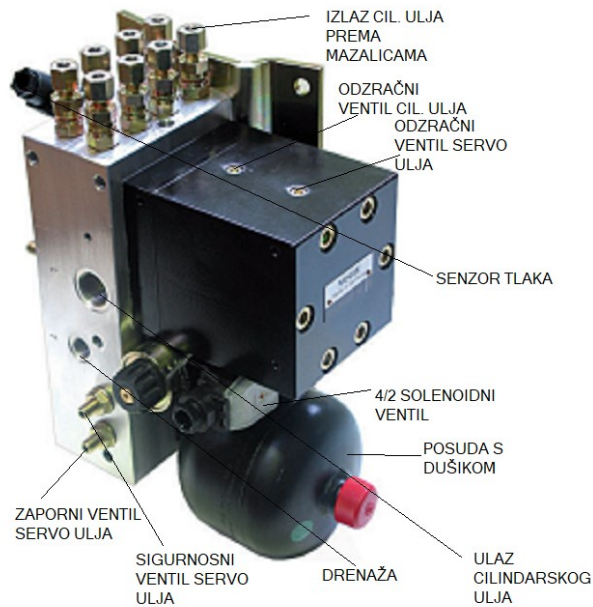
Pumpna stanica se sastoji od filtra, grijača, usisnog spremnika te dvije vijčane pumpe koje rade zasebno (jedna radi, a druga je u pričuvi (eng. “stand by”). Napajanje za pumpnu stanicu ide preko dva odvojena prekidača, svaki za jednu pumpu [6].



*Slika 6: Pumpna stanica [9]*

### 4.1.2. Lubrifikatori

Svaki cilindar ima svoj lubrifikator. Glavni dijelovi su posuda s dušikom koja služi za održavanje konstantnog tlaka, solenoidni ventil te središnji stap koji služi za regulaciju količine dobave cilindarskog ulja [6].



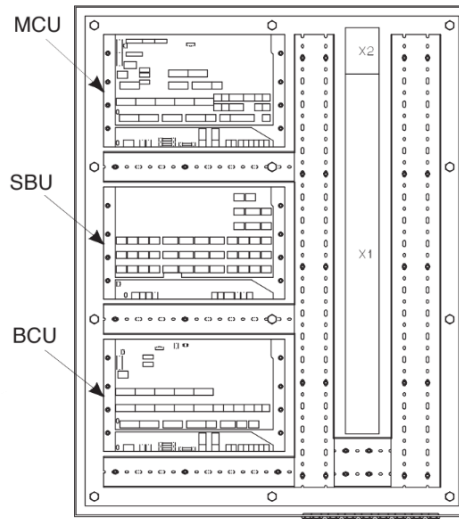
Slika 7: Lubrifikator (elektronički kontroliran) [10]

### 4.1.3. Glavna upravljačka jedinica

Upravljačku jedinicu čini čelični ormarić u kojem se nalaze tri glavne elektroničke komponente za kontrolu mazivog ulja:

- MCU (“Master Control Unit”),
- BCU (“Backup Control Unit”),
- SBU (“Switch Board Unit”) [6].

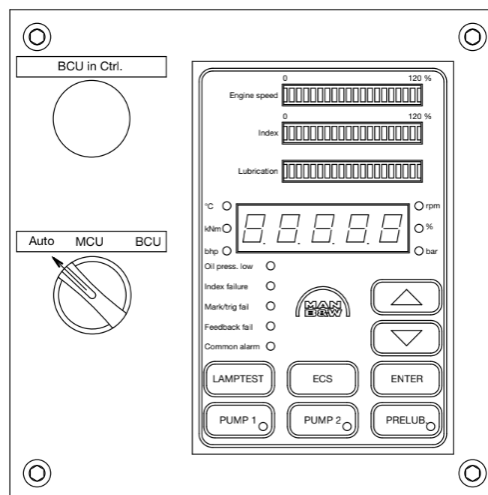




Slika 8: Glavna upravljačka jedinica [6]

#### 4.1.4. Sučelje

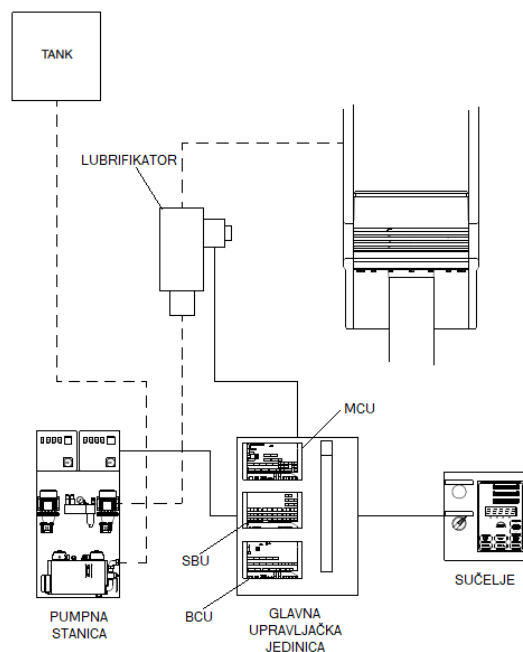
Na sučelju je moguće individualno podešavanje svakog lubrifikatora. Prikazane su razne vrijednosti te alarmi. Na sučelju su dostupni kontrolni gumbovi za pumpnu stanicu, te je moguće i izvođenje ručnog predpodmazivanja. Nalazi se u kontrolnoj sobi strojarnice. [6]



Slika 9: Sučelje [6]

## 4.2. PRINCIP RADA SUSTAVA

Cilindarsko ulje se dovodi u motor pod tlakom od 40 do 50 bara pomoću pumpne stanice. Ulje pod tlakom se dovodi do mazalica preko „Alpha lubrikatora“. Glavna upravljačka jedinica kontrolira ubrizgavanje cilindarskog ulja aktivacijom solenoidnog ventila koji se nalazi na lubrikatoru. Na lubrikatoru se također nalaze LED diode koje emitiraju svjetlost, time pokazujući da je došlo do ubrizgavanja. Vrijeme ubrizgavanja se temelji na dva signala od kutnog enkodera, marker gornje mrtve točke cilindra te okidača na radilici koji očitava njen položaj. Alpha sustav je obično podešen da ubrizgava cilindarsko ulje točno u stapne prstenove tijekom takta kompresije. Doziranje količine cilindarskog ulja se može podesiti pomoću vijka koji ograničava hod središnjeg stapa u lubrikatoru. U slučaju neispravnog solenoidnog ventila, doza ulja će se automatski povećati do najveće moguće vrijednosti, a ako dođe do pada tlaka ulja glavna upravljačka jedinica će startati „stand – by“ pumpu [6].



Slika 10: Alpha sustav podmazivanja [6]

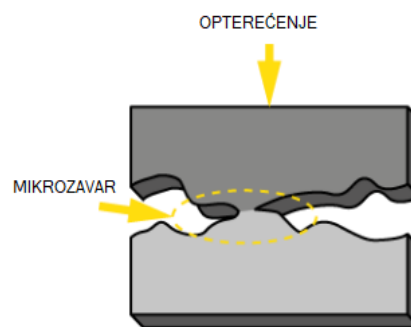
TLAK CILINDARSKOG ULJA		TEMPERATURA CILINDARSKOG ULJA	
Normalne vrijednosti	40 – 50 bar	Normalne vrijednosti	40 – 60 ° C
Alarm minimalne vrijednosti	35 bar	Alarm maksimalne vrijednosti	70 ° C

Tablica 3: Vrijednosti Alpha sustava podmazivanja [6]

## 5. UTJECAJ CILINDARSKOG ULJA

### 5.1. ADHEZIVNO TROŠENJE

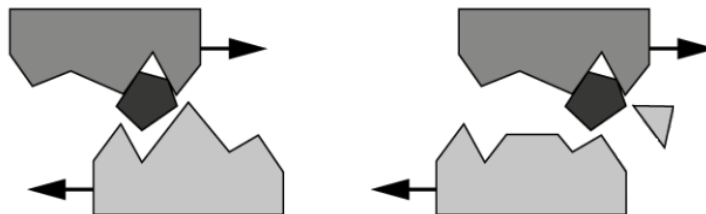
Uzrokovano je trenjem između dviju površina pri većem opterećenju, na način da dolazi do plastične deformacije ili tzv. zavarivanja materijala. Kod sporookretnih dizelskih dvotaktnih motora, do ovog načina trošenja dolazi kada nema dovoljno cilindarskog maziva za postizanje odgovarajućeg uljnog filma (a time i hidrodinamičkog podmazivanja) između košuljice cilindra i stapnih prstenova. Prvi pokazatelj adhezivnog trošenja je pojava mikrozavara [11].



Slika 11: Pojava mikrozavara kod adhezivnog trošenja [11]

### 5.2. ABRAZIVNO TROŠENJE

Abrazivno trošenje je kada se tvrdi materijal struže o mekši materijal, što dovodi do gubitka mekšeg materijala. Mazivo ulje „bježi“ kroz nastale ogrebotine te smanjuje debljinu uljnog sloja, dozvoljava direktan kontakt između dviju pomičnih površina i rezultira stvaranjem novih čestica (strugotina). Abrazivne čestice u cilindru mogu nastati tijekom izgaranja, potjecati iz strugotina stapnih naslaga čađe i pepela izgorenog cilindarskog ulja ili mogu ući u cilindar putem zraka za izgaranje [11].



Slika 12: Trošenje materijala abrazivnom česticom [11]

### 5.3. HLADNA KOROZIJA

Optimiziranje specifične potrošnje goriva pri niskim opterećenjima kod novijih dvotaktnih sporookretnih motora dobiva se podizanjem tlaka izgaranja. To se postiže povećanjem tlaka ispirnog zraka, a time i tlaka kompresije. Takvi motori često rade na teškom gorivu koje sadrži sumpor i vodu. Pri nižim opterećenjima, temperatura stijenke košuljice je niska ( $<200^{\circ}\text{C}$ ), a zajedno s visokim tlakom povećava mogućnost stvaranja kondenzacije plinova izgaranja i vode. Atmosfera u cilindru sadrži sumporne okside. Sumporni oksidi se otapaju u kondenziranoj vodi iz teškog goriva i ispirnog zraka na stjenci košuljice, stvarajući tako sumpornu kiselinu koja je osnova hladne korozije. Sumporna kiselina uzrokuje povećano trošenje stapnih prstenova, struganje i ogrebotine na košuljici cilindra čime se skraćuje njen vijek trajanja [12].



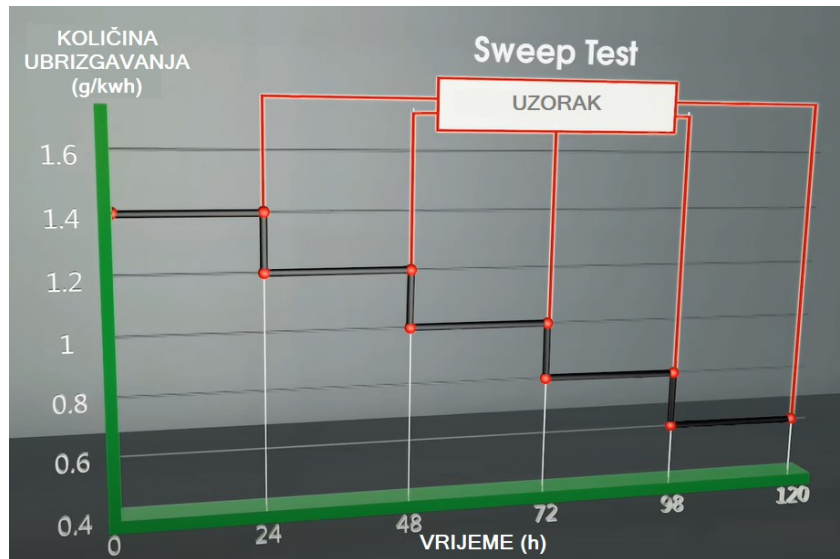
*Slika 13: Hladna korozija u gornjem dijelu košuljice [12]*

Da bi se hladna korozija svela na minimum potrebno je osigurati odgovarajući kapacitet neutralizacije uravnoteženom kombinacijom količine ubrizgavanja i baznog broja cilindarskog ulja. To se određuje kroz tzv. „sweep testing“ koji je veoma bitan kako bi se razumjeli zahtjevi za podmazivanje.

- „Sweep testing“ započinje s velikom količinom ubrizgavanja i konstantnim opterećenjem motora.
- Poslije 24 sata uzimaju se uzorci i provodi se analiza.

- Nakon analize smanjuje se količina ubrizgavanja za 0.2 grama po kw/h ponavljajući test, sve dok se ne dođe do minimalne dozvoljene količine ubrizgavanja cilindarskog ulja.

Za motore s visoko korozivnim uvjetima rada preporučuje se cilindarsko ulje s baznim brojem 100, a za umjereno korozivne bazni broj 70, ovisno o ishodu „sweep“ testa [13].



Slika 14: Dijagram „Sweep“ testa [13]

#### 5.4. KOLIČINA CILINDARSKOG ULJA

Količina podmazivanja se najčešće izražava u gramima mazivog ulja po proizvedenoj energiji motora na sat (g/kWh). Postoje razni čimbenici koji utječu na potrebnu količinu za podmazivanje i siguran rad motora, a najvažniji su :

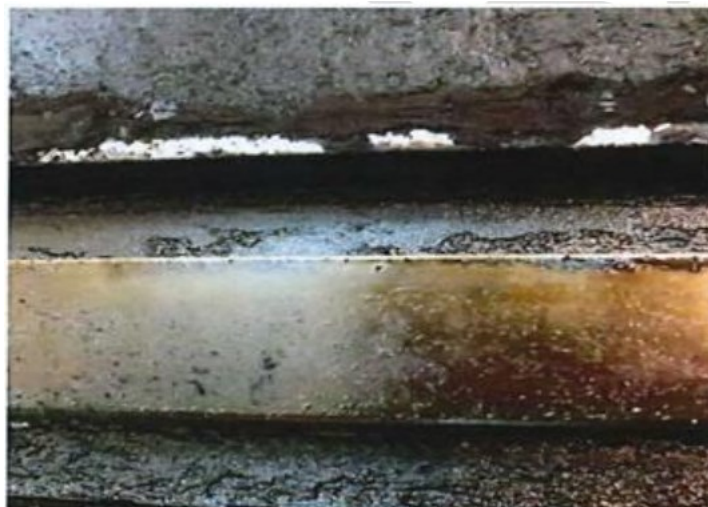
- Opterećenje motora,
- Postotak sumpora u gorivu.

Prekomjerne količine i pogrešan bazni broj mazivog ulja mogu dovesti do povećanog stvaranja taloga na stapu i stapnim prstenovima.



*Slika 15: Talog na stapu i stapnim prstenovima [11]*

Naslage nastale u utorima stapnih prstenova mogu uzrokovati pritisak nad prstenovima što rezultira velikim trošenjem prstenova i košuljice, a u nekim slučajevima može dovesti i do puknuća prstena. Takve naslage također mogu uzrokovati zaljepljenost prstenova što dovodi do propuštanja plinova izgaranja. Zbog takvih propuštanja dolazi do pojačanog trošenja košuljice, a radi visokih temperatura gubi se napetost prstenova, time i njihova sposobnost brtvljenja što uzrokuje trošenje te može dovesti i do puknuća košuljice [11].



*Slika 16: Talog unutar utora prstena [11]*

Kod nedovoljne količine cilindarskog maziva moguće posljedice su :

- Pospješeno trošenje košuljice i stapnih prstenova,
- Pregrijavanje (radi nedostatka zadovoljavajućeg uljnog filma),
- Posljedično velika oštećenja stapa.

## 6. ANALIZA UTJECAJA PODMAZIVANJA NA RAD MOTORA

Korištenjem raznih scenarija na simulatoru pokušalo se dobiti vrijednosti na osnovu kojih su doneseni zaključci o utjecaju količine cilindarskog ulja na osnovne parametre glavnog motora.

Mjerenja su evidentirana kroz nekoliko tablica i grafičkih prikaza:

- Pomaka prstenova,
- Brtvljenje prstenova,
- Promjene temperatura,
- Stupnjevi koljениčastog vratila raznih procesa,
- Promjene tlakova u cilindru motora,
- Specifične potrošnje goriva,
- Sadržaja NOx.

Specifična potrošnja cilindarskog ulja [%]	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Specifična potrošnja cilindarskog ulja [g/h]	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
Indicirana snaga (ikW) [kW]	3678	3659	3667	3660	3648	3653	3656	3653	3652	3654
Specifična potrošnja cilindarskog ulja [g/kWh]	0,081566	0,163979	0,245432	0,327869	0,411184	0,492746	0,574398	0,656994	0,739321	0,821018
Brzina vrtnje [o/min]	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Otvorenost VT pumpe (INDEX) [%]	57,03	56,7	56,77	56,73	56,49	56,63	56,62	56,58	56,49	56,5
Srednji indicirani tlak (MIP) [Bar]	16,07	15,98	16,02	15,99	15,49	15,96	15,97	15,96	15,96	15,97
Trenutak paljenja (TIGN) [Dgr]	3,47	3,19	3,26	3,23	3,04	3,15	3,14	3,1	3,03	3,04
Maksimalni tlak u cilindru (PMAx) [Bar]	132,4	132,6	132,3	132,5	132,1	132,4	132,4	132,4	132,3	132
Vrijeme (kut) maksimalnog tlaka (TMAX) [Dgr]	11	10,75	11	11	10,75	11	10,75	10,75	10,75	11
Tlak kompresije (PCOMPR) [Bar]	109,2	108,9	108,9	108,8	108,3	108,7	108,6	108,6	108,5	108,04
Tlak otvaranja rasprskaača (PINJO) [Bar]	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420
Maksimalni tlak ubrizgavanja (PINJM) [Bar]	719,1	718,3	718,5	718,4	717,8	718,2	718,1	718	717,8	717,8
Vrijeme (kut) otvaranja rasprskaača (TINJO) [Dgr]	-1,53	-1,82	-1,76	-1,8	-2	-1,88	-1,89	-1,94	-2,01	-2,01
Duljina trajanja ubrizgavanja (LINJ) [Dgr]	15,4	15,31	15,33	15,32	15,25	15,29	15,29	15,28	15,25	15,26
Brtvljenje prstena (1) [%]	89,9	92,4	89,8	88,3	93,5	90,4	86,5	91,2	90,1	88,5
Brtvljenje prstena (2) [%]	87,8	90,6	91,9	91	93	93,3	92	89,7	87,5	90,2
Brtvljenje prstena (3) [%]	91,5	88,4	89,5	88,8	86,9	91,5	92,2	93,3	87,5	89,3
Brtvljenje prstena (4) [%]	91,8	89,3	88,1	90,7	86,5	89,2	87,5	86,8	89,8	90,5
Pomak prstena (1) [%]	14,7	37,2	54,2	73,1	84	91,5	90,9	95,3	85,2	91,4
Pomak prstena (2) [%]	25,4	33,8	57,2	80,4	91,2	88,9	85	84,8	89,1	92,4
Pomak prstena (3) [%]	14,4	37,5	56,9	77,4	95,4	92,3	82,4	89,9	85,3	86,2
Pomak prstena (4) [%]	21,3	37	60,6	77,9	91	93,7	93,1	92,3	85,2	91,4
Temperatura ispuha [°C]	338,43	335,82	332,75	330,04	324,54	323,58	320,71	320,03	319,26	319,03
Temperatura glave cilindra [°C]	215,07	210,55	206,82	202,03	195,94	193,5	188,81	187,82	187,18	186,85
Srednja temperatura košuljice [°C]	229,66	213,89	201,57	186,4	168,45	158,06	142,59	139,76	137,6	135,44
Specifična potrošnja goriva [g/kWh]	185,23	184,97	184,83	184,71	184,5	184,38	184,3	184,21	183,99	183,96
Sadržaj Nox [g/kWh]	15	15,03	15,03	15,04	15,08	15,08	15,08	15,08	15,1	15,11

Tablica 4: Glavna tablica – prikaz svih vrijednosti tijekom mjerenja

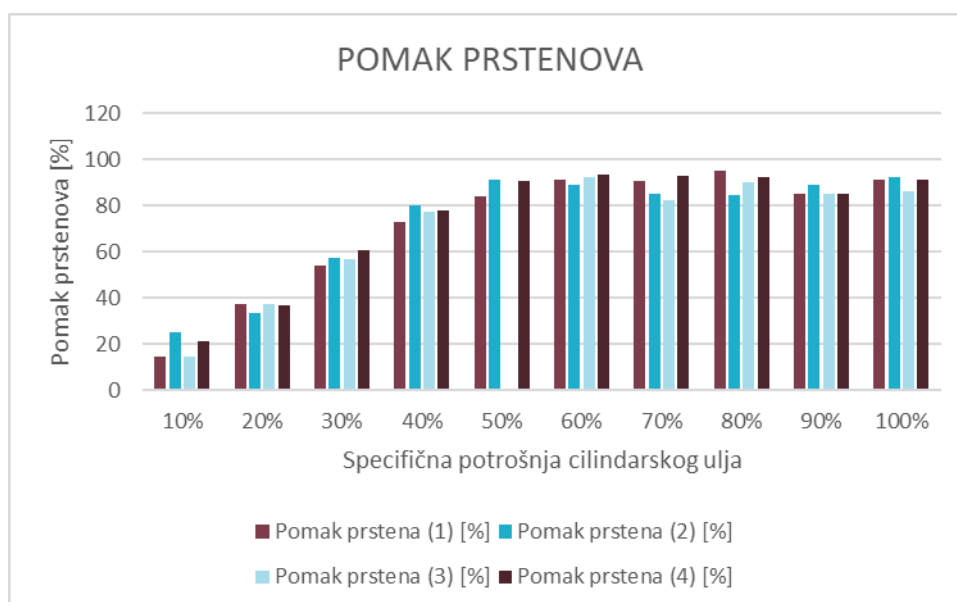
U nastavku su pojedinačni opisi provedenih mjerenja.

## 6.1. POMAK PRSTENOVA

Analiza rezultata pokazuje da se najznačajniji pomak prstenova u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja dogodi između količine od 10% i 20% gdje je pomak gotovo udvostručen. Između 30% i 50% pomak i dalje raste dok iznad 50% rast se gotovo i ne mijenja što daje zaključiti da je dovoljna količina cilindarskog ulja od 50% za optimalno podmazivanje. Sve iznad toga je neisplativo.

Specifična potrošnja cilindarskog ulja [%]	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Pomak prstena (1) [%]	14,7	37,2	54,2	73,1	84	91,5	90,9	95,3	85,2	91,4
Pomak prstena (2) [%]	25,4	33,8	57,2	80,4	91,2	88,9	85	84,8	89,1	92,4
Pomak prstena (3) [%]	14,4	37,5	56,9	77,4	95,4	92,3	82,4	89,9	85,3	86,2
Pomak prstena (4) [%]	21,3	37	60,6	77,9	91	93,7	93,1	92,3	85,2	91,4

Tablica 5: Pomak prstenova – prikaz vrijednosti



Slika 17: Grafički prikaz pomaka prstenova u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja

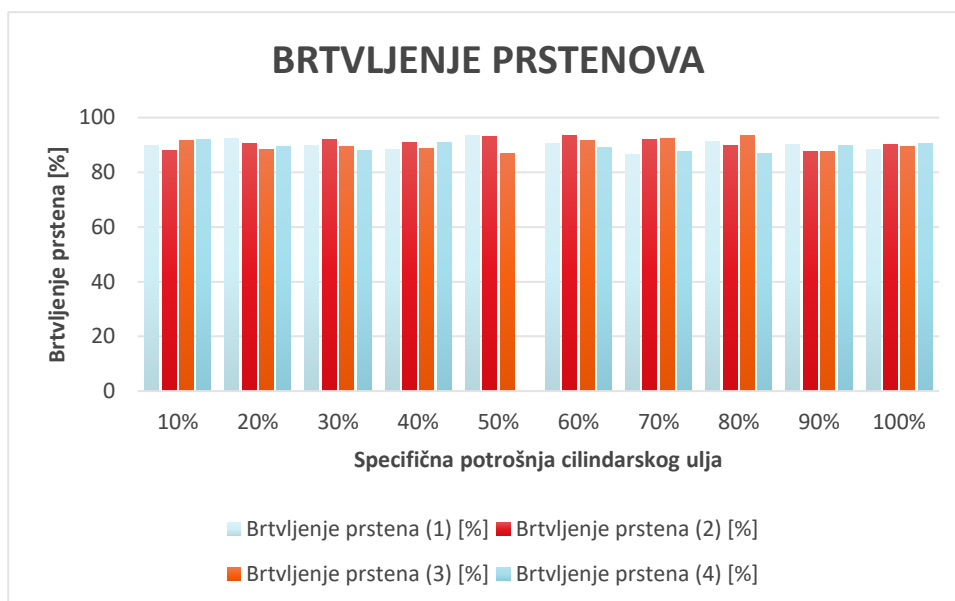


## 6.2. BRTVLJENJE PRSTENOVA

Analizom je utvrđeno da brtvljenje prstenova u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja nije imalo značajnije promjene što znači da promjena količine cilindarskog ulja ne utječe na brtvljenje prstenova.

Specifična potrošnja cilindarskog ulja [%]	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Brtvljenje prstena (1) [%]	89,9	92,4	89,8	88,3	93,5	90,4	86,5	91,2	90,1	88,5
Brtvljenje prstena (2) [%]	87,8	90,6	91,9	91	93	93,3	92	89,7	87,5	90,2
Brtvljenje prstena (3) [%]	91,5	88,4	89,5	88,8	86,9	91,5	92,2	93,3	87,5	89,3
Brtvljenje prstena (4) [%]	91,8	89,3	88,1	90,7	86,5	89,2	87,5	86,8	89,8	90,5

Tablica 6: Brtvljenje prstenova – prikaz vrijednosti



Slika 18: Grafički prikaz brtvljenja prstenova u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja

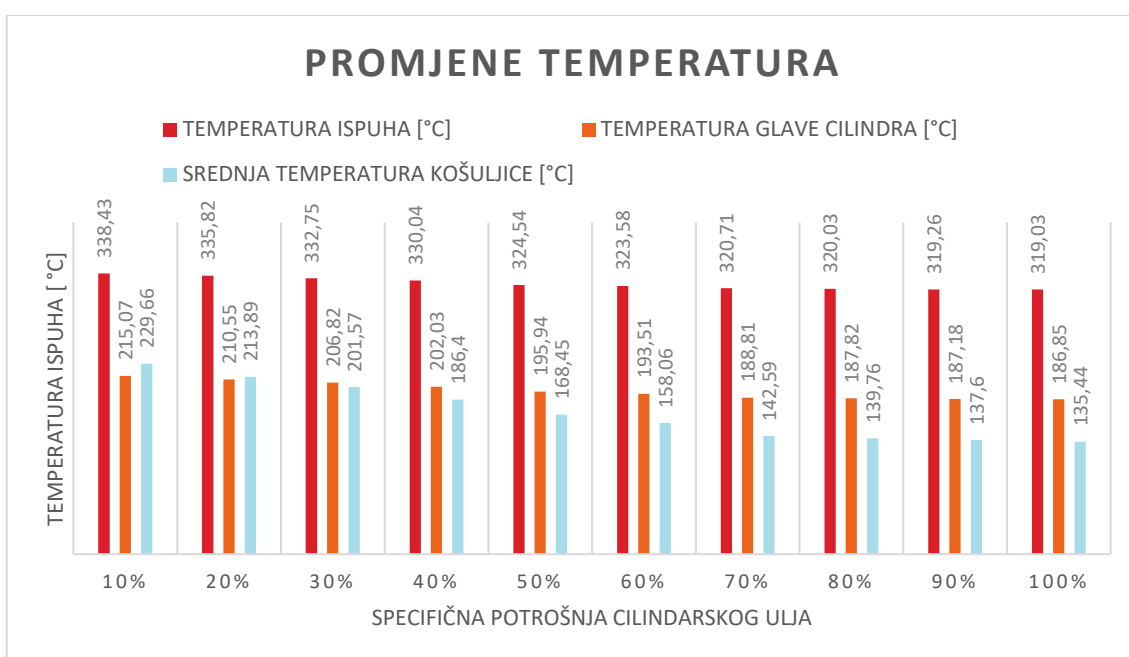
Ovi rezultati nisu u skladu s praksom jer se zna da količina cilindarskog ulja pospješuje brtvljenje stapnih prstenova te se da zaključiti da simulacijski model simulatora na kojem su rađena ispitivanja nije u potpunosti prilagođen stvarnim procesima u motorima.

### 6.3. PROMJENE TEMPERATURA

Promatrane su promjene vrijednosti triju različitih temperatura prikazanih u tablici broj 7. Indikativno je da sve tri temperature imaju najviše vrijednosti kada je količina cilindarskog ulja najmanja. Kako se količina ulja povećava tako temperature padaju što daje zaključiti da se s većom količinom ulja smanjuje adhezivno trošenje.

Specifična potrošnja cilindarskog ulja u %	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
TEMPERATURA ISPUHA [°C]	338,43	335,82	332,75	330,04	324,54	323,58	320,71	320,03	319,26	319,03
TEMPERATURA GLAVE CILINDRA [°C]	215,07	210,55	206,82	202,03	195,94	193,51	188,81	187,82	187,18	186,85
SREDNJA TEMPERATURA KOŠULJICE [°C]	229,66	213,89	201,57	186,4	168,45	158,06	142,59	139,76	137,6	135,44

Tablica 7: Promjene temperatura – prikaz vrijednosti



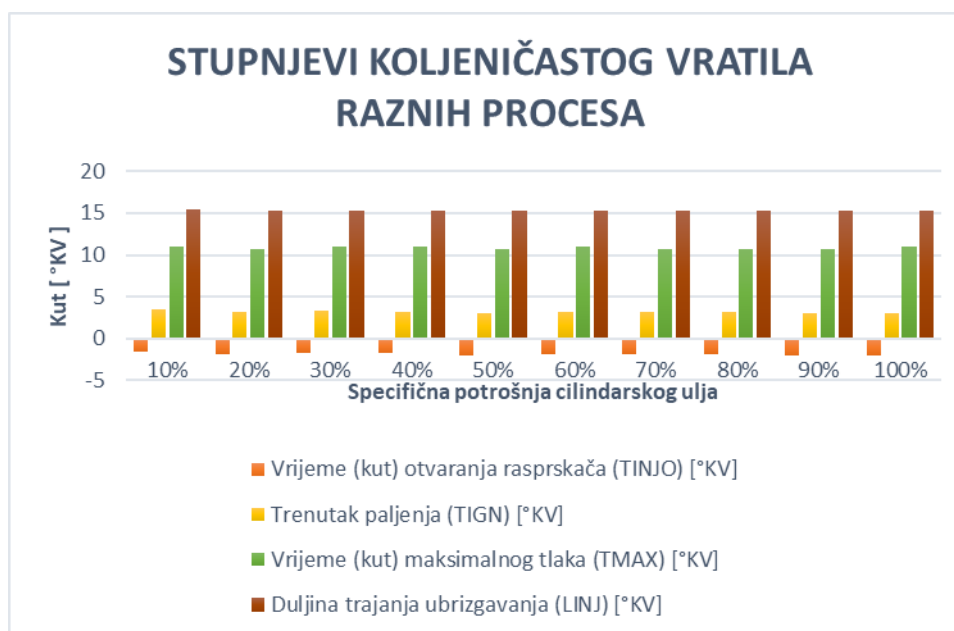
Slika 19: Grafički prikaz promjena temperatura u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja

## 6.4. STUPNJEVI KOLJENIČASTOG VRATILA RAZNIH PROCESA

Povećanjem količine ubrizganog cilindarskog ulja kut ranijeg otvaranja rasprskavača se povećava dok se kut trenutka paljenja smanjuje. Kut maksimalnog tlaka i kut duljine trajanja ubrizgavanja ostaju isti neovisno o povećanju količine ubrizganog cilindarskog ulja..

Specifična potrošnja cilindarskog ulja [%]	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Vrijeme (kut) otvaranja rasprskavača (TINJO) [°KV]	-1,53	-1,82	-1,76	-1,8	-2	-1,88	-1,89	-1,94	-2,01	-2,01
Trenutak paljenja (TIGN) [°KV]	3,47	3,19	3,26	3,23	3,04	3,15	3,14	3,1	3,03	3,04
Vrijeme (kut) maksimalnog tlaka (TMAX) [°KV]	11	10,75	11	11	10,75	11	10,75	10,75	10,75	11
Duljina trajanja ubrizgavanja (LINJ) [°KV]	15,4	15,31	15,33	15,32	15,25	15,29	15,29	15,28	15,25	15,26

Tablica 8: Stupnjevi koljeničastog vratila – prikaz vrijednosti



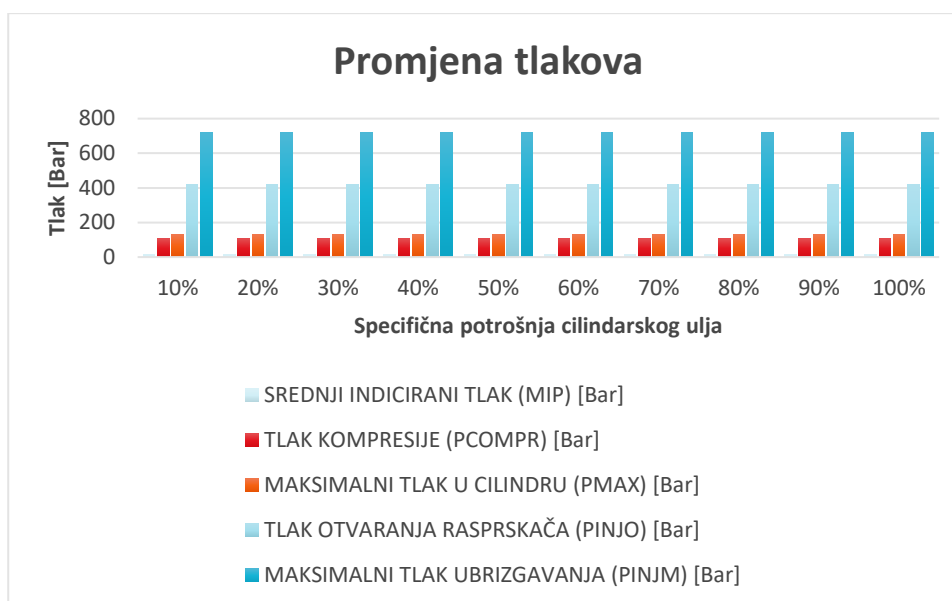
Slika 20: Grafički prikaz stupnjeva koljeničastog vratila raznih procesa u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja

## 6.5. PROMJENA TLAKOVA

Prikazane vrijednosti promjene tlakova pokazuju da količina ubrizganog cilindarskog ulja ne utječe značajnije na promjenu tlakova.

Specifična potrošnja cilindarskog ulja [%]	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
SREDNJI INDICIRANI TLAK (MIP) [Bar]	16,07	15,98	16,02	15,99	15,49	15,96	15,97	15,96	15,96	15,97
TLAK KOMPRESIJE (PCOMPR) [Bar]	109,2	108,9	108,9	108,8	108,3	108,7	108,6	108,6	108,5	108,04
MAKSIMALNI TLAK U CILINDRU (PMAX) [Bar]	132,4	132,6	132,3	132,5	132,1	132,4	132,4	132,4	132,3	132
TLAK OTVARANJA RASPRSKAČA (PINJO) [Bar]	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420
MAKSIMALNI TLAK UBRIZGAVANJA (PINJM) [Bar]	719,1	718,3	718,5	718,4	717,8	718,2	718,1	718	717,8	717,8

Tablica 9: Promjena tlakova – prikaz vrijednosti



Slika 21: Grafički prikaz promjene tlakova u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja

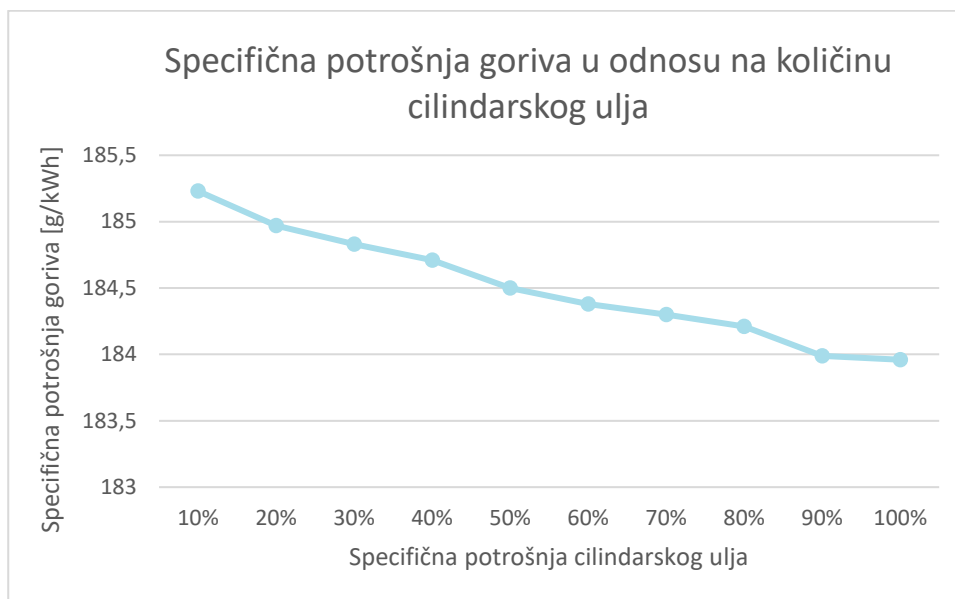
Ovi rezultati isto nisu u skladu sa stvarnim procesom jer povećanim doziranjem cilindarskog ulja se povećava brtvljenje između stapnih prstenova, stapa i košuljice što rezultira većim tlakom na kraju kompresije, a time i većim maksimalnim tlakom. Prevelika količina ulja, s druge strane, utječe na povećano stvaranje taloga između prstenova što može imati negativni utjecaj na brtvljenje i tlakove kompresije i izgaranje. Prevelika količina cilindarskog ulja stvara i talog u podstapnom prostoru što povećava mogućnost nastanka požara u podstapnom prostoru.

## 6.6. SPECIFIČNA POTROŠNJA GORIVA

Iz prikazanih vrijednosti i krivulje na grafikonu vidi se da specifična potrošnja goriva opada u odnosu na povećanje količine cilindarskog ulja.

Specifična potrošnja cilindarskog ulja [%]	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Specifična potrošnja goriva [g/kWh]	185,23	184,97	184,83	184,71	184,5	184,38	184,3	184,21	183,99	183,96

Tablica 10: Specifična potrošnja goriva – prikaz vrijednosti



Slika 22: Grafički prikaz specifične potrošnje goriva u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja

Ovakvi rezultati se mogu objasniti povećanjem topline koja se u cilindar unosi preko cilindarskog ulja budući da ono sudjeluje u procesu izgaranja. Drugim riječima, toplina koja se dovodi cilindarskim uljem utječe na smanjenje topline dovedene gorivom (za istu snagu motora).

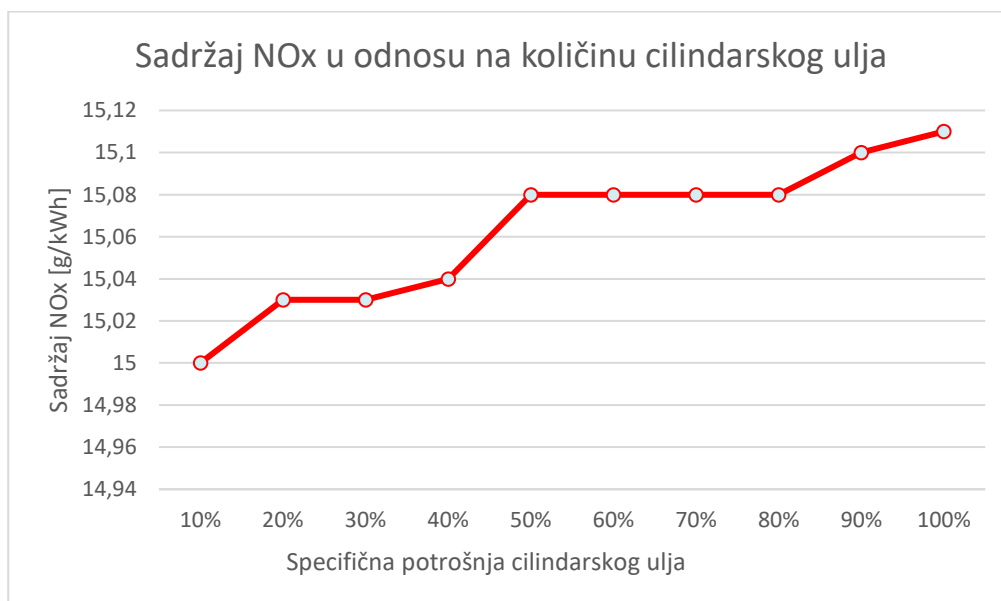
Kao što se vidi iz tablice razlike su neznatne.

## 6.7. SADRŽAJ NO<sub>x</sub>

Sadržaj NO<sub>x</sub>-a ima kontinuirani rast u odnosu na povećanje ubrizgane količine cilindarskog ulja. što je i logično jer, tijekom izgaranja, veća količina cilindarskog ulja stvara i veću količinu dušikovih oksida. Povećanje NO<sub>x</sub> – a je neznatno što se vidi iz tablice. Za povećanje NO<sub>x</sub> – a je uvjet povećanje Tmax odnosno Pmax što se opet iz gornjih mjerenja baš ne podudara pa je i upitno.

Specifična potrošnja cilindarskog ulja [%]	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
SADRŽAJ NO <sub>x</sub> [g/kWh]	15	15,03	15,03	15,04	15,08	15,08	15,08	15,08	15,1	15,11

Tablica 11: Sadržaj NO<sub>x</sub> – prikaz vrijednosti



Slika 23: Grafički prikaz sadržaja NO<sub>x</sub> - a u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja

## 7. ZAKLJUČAK

Cilindarska ulja su neophodna za dvotaktne motore i njihova svrha je zaštita košuljice, stapa i stapnih prstenova od štetnih učinaka sumporne i sumporaste kiseline te stvaranje uljnog filma između stapnih prstenova i košuljice kako bi se smanjilo trenje.

Viskozitet je jedno od najvažnijih svojstava ulja za podmazivanje te je potrebno koristiti ulje koje nema ni previsoku niti prenisku viskoznost.

Rad sustava za podmazivanje opisan je kroz „MAN ALPHA“ sustav za podmazivanje.

Najvažniji čimbenici koji utječu na potrebnu količinu ulja za podmazivanje i siguran rad motora su opterećenje motora i postotak sumpora u gorivu dok su najznačajnije posljedice nedovoljne količine cilindarskog ulja pospješeno trošenje košuljice i stapnih prstenova, pregrijavanje i velika oštećenja stapa.

Kroz rezultate provedenih mjerenja na simulatoru mogu se donijeti sljedeći zaključci:

1. Dovoljna količina cilindarskog ulja za optimalno podmazivanje na ispitivanom motoru je 1500 g/h,
2. Promjena količine cilindarskog ulja ne utječe na brtvljenje prstenova,
3. Povećanjem količine ulja temperature padaju što znači da se s većom količinom ulja smanjuje adhezivno trošenje,
4. Količina ubrizganog cilindarskog ulja ne utječe na značajniju promjenu tlakova,
5. Specifična potrošnja goriva opada u odnosu na povećanje količine cilindarskog ulja.

## LITERATURA

- [1] MAN DIESEL & TURBO – Service Experience, Two stroke Engines
- [2] Davor Lenac – Brodska maziva, prezentacija
- [3] Charles Gay „ACID NUMBER DETERMINES REMAINING USEFUL LIFE OF INDUSTRIAL LUBRICANTS“
- [4] TOTAL LUBMARINE – Talusia Universal technical data sheet
- [5] TOTAL LUBMARINE – Talusia HR 70 technical data sheet
- [6] MAN DIESEL – Alpha Lubricator System Operating Manual MC Engines
- [7] MAN B&W G50ME – C9.5 Project Guide
- [8] WARSTSIILA – Pulse Lubricatnig System
- [9] <http://www.maritimetraining.in/man-diesel-alphalub.htm>
- [10] SKF – Lubrication System CLU4
- [11] CIMAC Recommendation 31 – THE LUBRICATION OF TWO STROKE CROSSHEAD DIESEL ENGINES
- [12] MAN Diesel & Turbo – Cylinder Liner Cold Corrosion Control
- [13] <https://www.youtube.com/watch?v=GfQmyU0k39I&t=7s>
- [14] Kongsberg Maritime – ERS L11 5L90MC – VLCC Version MC90 - V



## POPIS SLIKA

Slika 1: Sustav cilindarskog podmazivanja [11]	2
Slika 2: Gravitacijska cijev [7]	3
Slika 3: Mazalica [8]	3
Slika 4: Graf količine TBN – a u odnosu na postotak sumpora u gorivu [2]	4
Slika 5: Tablica viskoznosti [2]	5
Slika 6: Pumpna stanica [9]	7
Slika 7: Lubrifikator (elektronički kontroliran) [10]	8
Slika 8: Glavna upravljačka jedinica [6]	9
Slika 9: Sučelje [6]	9
Slika 10: Alpha sustav podmazivanja [6]	10
Slika 11: Pojava mikrozavara kod adhezivnog trošenja [11]	11
Slika 12: Trošenje materijala abrazivnom česticom [11]	11
Slika 13: Hladna korozija u gornjem dijelu košuljice [12]	12
Slika 14: Dijagram „Sweep” testa [13]	13
Slika 15: Talog na stapu i stapnim prstenovima [11]	14
Slika 16: Talog unutar utora prstena [11]	14
Slika 17: Grafički prikaz pomaka prstenova u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja	16
Slika 18: Grafički prikaz brtvljenja prstenova u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja	17
Slika 19: Grafički prikaz promjena temperatura u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja	18
Slika 20: Grafički prikaz stupnjeva koljeničastog vratila raznih procesa u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja	19
Slika 21: Grafički prikaz promjene tlakova u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja	20
	25

Slika 22: Grafički prikaz specifične potrošnje goriva u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja

21

Slika 23: Grafički prikaz sadržaja NO<sub>x</sub> - a u odnosu na specifičnu potrošnju cilindarskog ulja

22

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1: Tehnički podaci : Talusia Universal [4]	6
Tablica 2: Tehnički podaci : Talusia HR 70 [5]	6
Tablica 3: Vrijednosti Alpha sustava podmazivanja [6]	10
Tablica 4: Glavna tablica – prikaz svih vrijednosti tijekom mjerenja	15
Tablica 5: Pomak prstenova – prikaz vrijednosti	16
Tablica 6: Brtvljenje prstenova – prikaz vrijednosti	17
Tablica 7: Promjene temperatura – prikaz vrijednosti	18
Tablica 8: Stupnjevi koljeničastog vratila – prikaz vrijednosti	19
Tablica 9: Promjena tlakova – prikaz vrijednosti	20
Tablica 10: Specifična potrošnja goriva – prikaz vrijednosti	21
Tablica 11: Sadržaj NO <sub>x</sub> – prikaz vrijednosti	22