

# Maziva ulja za kompresore zraka

---

Šaškin, Dario

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:716212>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



**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



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**DARIO ŠAŠKIN**

**MAZIVA ULJA ZA KOMPRESORE ZRAKA**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**MAZIVA ULJA ZA KOMPRESORE ZRAKA  
LUBRICATING OILS FOR AIR COMPRESSORS**

**ZAVRŠNI RAD  
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Goriva, maziva i voda

Mentor: prof. dr. sc. Dean Bernečić

Komentor: Davor Lenac, dipl. ing.

Student: Dario Šaškin

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112069202

Rijeka, studeni 2024.

Student: Dario Šaškin

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112069202

### IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom MAZIVA ULJA ZA KOMPRESORE ZRAKA izradio samostalno pod mentorstvom prof dr. sc. Deana Bernečića te komentorstvom Davora Lenca dipl. ing.

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

A handwritten signature in blue ink that reads "Dario Šaškin". The signature is written in a cursive style with a large initial 'D' and a checkmark above the 'š'.

Dario Šaškin

Student: Dario Šaškin  
Studijski program: Brodostrojarstvo  
JMBAG: 0112069202

IZJAVA STUDENTA – AUTORA  
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu 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



Dario Šaškin

## SAŽETAK

U kontekstu pomorstva, gdje se tehnologija i inovacije neprestano razvijaju kako bi udovoljile zahtjevima moderne plovidbe, ulja imaju ključnu ulogu u održavanju i funkcionalnosti brodskih sustava. Kao sastavni dio održavanja motora, kompresorskih sustava i drugih strojeva na brodu, ulja se suočavaju s različitim izazovima, te specifičnim uvjetima na moru. Ovaj rad istražuje općenite karakteristike i važnost ulja u pomorstvu, fokusirajući se na ulja zračnih kompresora, aditive, analize, svojstva zračnih kompresorskih ulja, njihovu primjenu u specifičnim radnim uvjetima te zahtjeve, standarde i regulaciju koji oblikuju njihovu primjenu. Kroz analizu i održavanje, istražuju se ključni elementi očuvanja optimalne funkcionalnosti brodskih sustava, unapređujući njihovu učinkovitost, trajnost te ispunjavajući visoke standarde ekološke održivosti. Ovaj rad pruža sveobuhvatan pregled uloge zračnih kompresorskih ulja u kontekstu pomorstva, prepoznajući njihovu ključnu ulogu u održavanju sigurne i učinkovite plovidbe.

**Ključne riječi:** kompresorska ulja, analiza i dijagnostika, brodski sustavi, podmazivanje, standardi i regulacije.

## SUMMARY

In the context of maritime operations, where technology and innovations are constantly evolving to meet the demands of modern navigation, oils play a crucial role in the maintenance and functionality of ship systems. As an integral part of engine maintenance, compressor systems, and other machinery on board, oils face various challenges, and specific conditions at sea. This paper explores the general characteristics and importance of oils in maritime applications, focusing on marine oils for air compressors, additives, analyses, properties of air compressor oils, their application in specific operating conditions, and the requirements, standards, and regulations shaping their usage. Through analysis and maintenance, key elements of preserving optimal functionality of ship systems are investigated, enhancing their efficiency, durability, and meeting high standards of environmental sustainability. This paper provides a comprehensive overview of the role of air compressor oils in the maritime context, recognizing their key role in maintaining safe and efficient navigation.

**Keywords:** compressor oils, analysis and diagnostics, ship systems, lubrication, standards and regulations.

# SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>I</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>I</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>II</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PODMAZIVANJE I TRENJE</b> .....	<b>2</b>
2.1. TRENJE.....	2
2.2. PODMAZIVANJE .....	3
2.2.1. Granično podmazivanje .....	3
2.2.2. Elastohidrodinamičko podmazivanje.....	4
2.2.3. Miješano podmazivanje .....	5
2.2.4. Hidrodinamičko podmazivanje .....	5
2.2.5. Stribeckova krivulja .....	6
<b>3. OPĆENITO O ULJIMA U POMORSTVU</b> .....	<b>8</b>
3.1. VAŽNOST ULJA U BRODOSTROJARSTVU .....	8
3.2. KARAKTERISTIKE BRODSKIH ULJA.....	9
<b>4. ADITIVI ZA MAZIVA</b> .....	<b>11</b>
4.1. ADITIVI ANTIOKSIDANTI.....	11
4.1.1. Vrste antioksidanata .....	12
4.2. ADITIVI ZA POBOLJŠANJE INDEKSA VISKOZNOSTI .....	14
4.2.1. Kemijski sastav poboljšivača indeksa viskoznosti .....	14
4.2.2. Topljivost i mehanizam povećanja viskoznosti i indeksa viskoznosti .....	14
4.2.3. Smična stabilnost .....	15
4.3. ADITIVI ZA SNIŽENJE TOČKE TEČENJA .....	15
4.4. ADITIVI ZA POBOLJŠANJE OTPORNOSTI NA OPTEREĆENJE .....	16
4.4.1. Polarni aditivi .....	16
4.4.2. Aditivi za zaštitu od trošenja.....	16
4.4.3. Aditivi za ekstremno visoke pritiske (EP) .....	17
4.4.3.1. Aditivi koji sadrže sumpor .....	17

4.4.3.2. Aditivi koji sadrže klor .....	17
4.4.3.3. Aditivi koji sadrže fosfor .....	17
4.5. ADITIVI DETERDŽENTI .....	18
4.6. ADITIVI DISPERZANTI .....	18
4.7. ADITIVI PROTIV KOROZIJE I HRĐE .....	19
4.8. ADITIVI EMULGATORI .....	19
4.9. ADITIVI PROTIV PJENJENJA .....	20
4.10. OSTALI ADITIVI .....	21
<b>5. VRSTE BRODSKIH ULJA .....</b>	<b>22</b>
5.1. ULJA ZA KLIPNE KOMPRESORE .....	23
5.1.1. Mobil Rarus 824 .....	23
5.2. ULJA ZA VIJČANE KOMPRESORE .....	24
5.2.1. INA VIK 46 .....	25
5.3. ULJA ZA CENTRIFUGALNE KOMPRESORE .....	25
5.3.1. Compressor oil EP VDL .....	26
<b>6. ANALIZA ULJA .....</b>	<b>28</b>
6.1. Važnost analiza za održavanje brodskih sustava .....	28
6.2. Metode analize i dijagnostike .....	28
<b>7. SINTETIČKA ULJA .....</b>	<b>30</b>
7.1. Shell Corena S4 R 46 .....	30
7.2. Cetus PAO .....	32
<b>8. ZAŠTITA OKOLIŠA .....</b>	<b>33</b>
<b>9. STANDARDI I SPECIFIKACIJE KOMPRESORSKIH ULJA .....</b>	<b>33</b>
<b>10. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>35</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>36</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>37</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>38</b>
<b>PRILOZI .....</b>	<b>39</b>



## 1. UVOD

Rad istražuje ulogu zračnih kompresorskih ulja u kontekstu pomorstva, pružajući sveobuhvatan pregled njihove važnosti, karakteristika te specifičnosti primjene u različitim sustavima na brodu. Općenito, ulja u pomorstvu imaju važnu ulogu u podmazivanju i održavanju različitih brodskih sustava, pridonoseći njihovoj učinkovitosti i dugovječnosti. Rad analizira različite vrste brodskih ulja, od jednogradnih do višegradnih, ističući specifičnosti primjene u klipnim, vijčanim i centrifugalnim kompresorima. U radu se analiziraju uloga, važnost i vrste ulja u pomorstvu, naglašavajući važnost ovog procesa za održavanje optimalne funkcionalnosti brodskih sustava. Metode analize i dijagnostike omogućuju precizno praćenje stanja ulja, pružajući informacije ključne za preventivno održavanje i ranu detekciju potencijalnih problema.

Svojstva kompresorskih ulja, poput viskoznosti, termičke stabilnosti, otpornosti na oksidaciju te aditiva, dodatno su istražena u kontekstu izazova koji proizlaze iz pomorskih uvjeta.

U radu se istražuju zahtjevi, standardi i regulacije koji oblikuju upotrebu kompresorskih ulja u pomorstvu te se prikazuju važnosti analize i održavanja kao faktori osiguranja dugovječnosti i učinkovitosti brodskih sustava. Kroz sveobuhvatan pristup rad pridonosi razumijevanju kompleksnosti zračnih kompresorskih ulja u pomorstvu, naglašavajući njihovu ulogu u održavanju sigurne i ekološki izvedive plovidbe.

## 2. PODMAZIVANJE I TRENJE

Podmazivanje i trenje su u međusobnoj interakciji, jer pojavom trenja javlja se i primjena maziva za njegovo smanjenje. Maziva su tvari koja imaju specifična fizikalna i kemijska svojstva i služe za podmazivanje površina uređaja. Naravno kada govorimo o primjeni maziva na kopnu i na brodu, ono se razlikuje, pa je važno poznavati načine rada broskog sustava, te uvjete podmazivanja kako bi se smanjile štetne i pogrešne primjene. Dije se prema agregatnom stanju na čvrste, plinovite i tekuće tvari. Uobičajeno se dijele u dvije osnovne skupine, a to su maziva ulja i mazive masti.

Maziva ulja su proizvodi od baznih ulja i odgovarajućih poboljšivača odnosno dodataka (aditiva).

Mazive masti su također proizvodi od baznih ulja, poboljšivača uz dodatak ugušćivača[1].

### 2.1. TRENJE

Kod čvrstih tijela, koji su u opterećenom kontaktu, javlja se trenje koje je složeno fizičko-kemijska pojava ovisna o spregnutim površinama, što se definira kao otpor koji se odupire gibanju spregnutih površina. Nauka o trenju i svim pogledima trošenja, te oštećenja površina materijala naziva se tribologija, dok se za smanjivanje trenja koriste sredstva pod nazivom maziva. Njihova uloga u podmazivanju je dakako sprječavanje izravnog kontakta međusobnih površina, kako bi smanjili već spomenuto trenje. Osim toga, maziva ne služe samo za smanjenje trenja, nego pomažu i kod hlađenja uređaja gdje odvođe toplinu, čiste uređaje od nečistoća i tako dalje[1].

Kod strojno obrađenih površina nailazimo na sitne neravnine, koja se možda okom ne vide, ali upotrebom mikroskopa se mogu vidjeti neravnine koje se razlikuju ovisno o postupku obrade koji se upotrebljava (tokarenje, brušenje, blanjanje). Kada dvije spregnute površine klize jedna preko druge, oprečni vrhovi neravnina suprotstavljat će se klizanju, pa se zbog toga promijene površine dodirnih dijelova zbog istrošenosti, iskrivljenja i habanja. Samom upotrebom prikladnih ulja za podmazivanje te pravilnim načinom podmazivanja povećava se stupanj djelovanja stroja i njegova učinkovitost, a dodatno se troškovi održavanja smanjuju[2].

## 2.2. PODMAZIVANJE

Napomenuto je da za smanjenje trenja koristimo maziva, koja se koriste u postupku podmazivanja, gdje se osigurava prisutnost maziva između dodirnih površina. Osnovni preduvjet za dobro podmazivanje dviju površina koja se gibaju je razmicanje površine, odnosno stvaranje uljnog sloja koji sprječava međusobno trljanje površina.

Tri stanja podmazivanja spregnutih površina u relativnom gibanju:

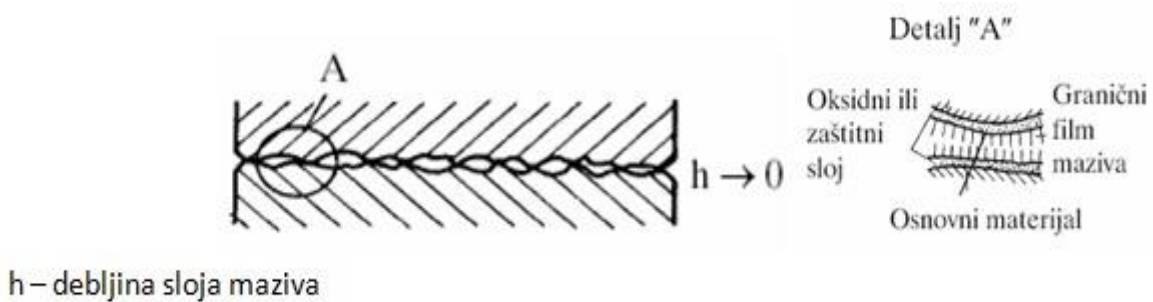
- I. Podmazivanje graničnim slojem (BL – Boundary Lubrication)
- II. Hidrodinamičko podmazivanje (HDL – Hydrodynamic Lubrication)
- III. Podmazivanje miješanim uljnim slojem i elasto-hidrodinamičko podmazivanje (ML – Mixed Film Lubrication) i (EHDL – Elastohydrodynamic Lubrication)[1].

### 2.2.1. Granično podmazivanje

Ako sloj maziva nema dovoljnu debljinu kako bi zaustavilo dodirivanje površina čvrstih tijela onda nastaje granično podmazivanje. Vrlo je složeno zbog različitih mogućnosti interakcije maziva za granično podmazivanje i materijala. Da bi se smanjilo trenje i habanje u spomenutom procesu potrebne su izmjene svojstva površinskih slojeva spregnutih materijala i stvoriti pogodan granični sloj. Kako bi sve funkcioniralo, ovi slojevi primjenom maziva sa polarnim aditivima, aditivima za smanjenje habanja, te dodacima za visoke pritiske moraju imati iduća svojstva[1]:

- Smanjiti površinu dodira metala, ali u isto vrijeme povećati stvarne površine ostvarene u samom graničnom sloju. Tako se smanjuje veličina trošenja.
- Moraju imati nisku vrijednost napona na savijanje kako bi trenje pri gibanju površina bilo što manje.
- Moraju posjedovati odličnu postojanost pri svim uvjetima rada, pogotovo ako se radi o povišenim temperaturama.

Najviše su izražena abrazivna i adhezivna trošenja materijala, no u manjem opsegu prisutan je i tribokemijski proces. Stvaranje graničnih, zaštitnih slojeva moguće je postići: kemijskim reakcijama, fizičkom adsorpcijom i kemijskom adsorpcijom. Prepoznatljiv primjer je gibanje klipa, odnosno mjesto dodira pri gornjoj i donjoj mrtvoj točki, unutar cilindra motora. Također i pri podmazivanju ležajeva bregaste osovine[3].

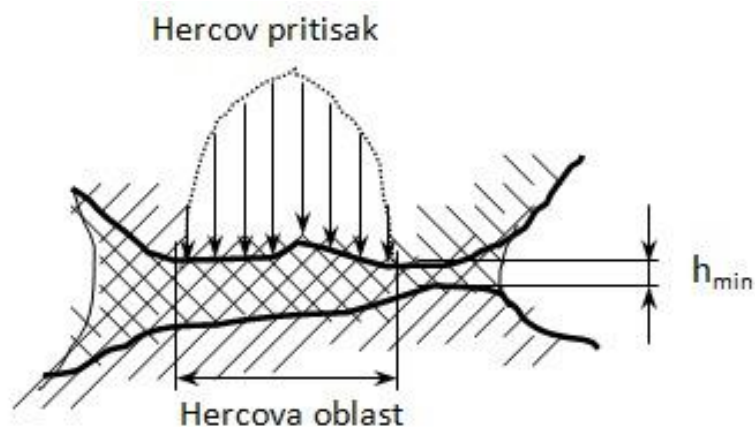


Slika 1. Prikaz graničnog podmazivanja[3]

### 2.2.2. Elastohidrodinamičko podmazivanje

Za elastohidrodinamičko podmazivanje karakteristično je da se opterećenje prenosi preko velike površine dodira. Međutim, postoji mnogo elemenata strojeva (valjkasti/kuglični ležajevi, bregasti mehanizmi, zupčanici) kod kojih se teoretski kontakt ostvaruje u točki ili duž linije. Stvarni kontakt ostvaruje se preko neke male, ali konačne površine. Mali kontakt uzrokuje visoka specifična opterećenja, što rezultira elastičnim deformacijama površinskih slojeva i promjenom geometrije dodirne površine. Za ove uvjete vrijede Hertzovi zakoni, koji određuju veličinu tlaka, kao i veličinu dodirne površine.

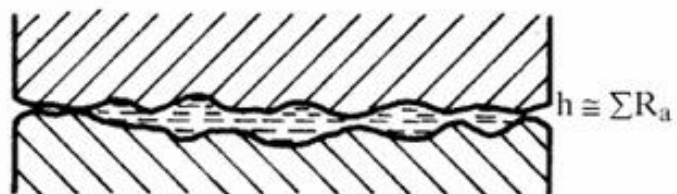
U području dodira visoko opterećenih spojenih površina javlja se pritisak koji ima paraboličnu raspodjelu. Izvan Hertzove zone vladaju zakoni hidrodinamičkog podmazivanja. Na ulasku u Hertzovu zonu pritisak u podmazivanju je manji od hertzovog tlaka, ali dovoljno visok da bi razdvojio površine. U samoj Hertzovoj zoni tlak u sloju podmazivanja prati raspodjelu Hertzovog tlaka[2].



Slika 2. Prikaz elastohidrodinamičkog podmazivanja[3]

### 2.2.3. Miješano podmazivanje

Mješovito podmazivanje, kao prijelazni oblik od graničnog prema podmazivanju potpunim slojem maziva, označava takve uvjete podmazivanja kod kojih je sloj maziva djelomično uništen i na tim mjestima prisutan je dodir neravnina spojenih površina. To znači da se opterećenje prenosi s jedne površine na drugu dijelom preko sloja maziva a dijelom preko spojenih neravnina.



$h$  – debljina sloja maziva,  
 $R_a$  – srednje aritmetičko odstupanje profila

Slika 3. Prikaz podmazivanja miješanim uljnim slojem[3]

### 2.2.4. Hidrodinamičko podmazivanje

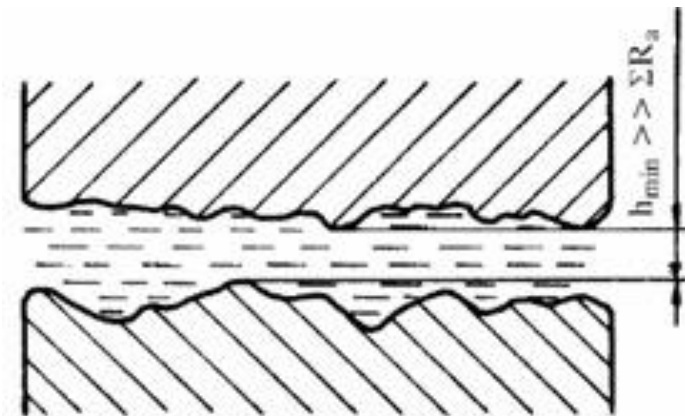
Hidrodinamičko podmazivanje predstavlja način podmazivanja pri kojem su površine koje se podmazuju razdvojene kontinuiranim slojem maziva tijekom kretanja, odnosno gdje se

trenje površinskih reljefa u potpunosti zamjenjuje unutarnjim trenjem čestica maziva. Tijekom mirovanja, pokretanja ili zaustavljanja površine su u direktnom kontaktu.

Prema[2] elementi mehaničkih sistema kod kojih se ostvaruje hidrodinamičko podmazivanje karakterizira se sljedećim tribološkim karakteristikama:

- Površine koje se podmazuju razdvojene su neprekidnim slojem maziva prikladne debljine tako da ne dolazi do njihovog dodira. Iznimka je pokretanje i zaustavljanje.
- Otpor prilikom trenja u sustavu je određen veličinom unutarnjeg trenja u mazivu.
- Opterećenje se prenosi s jedne na drugu površinu preko sloja maziva koji posjeduju određenu moć nošenja nastalu kao rezultat relativnog kretanja površina.

Debljina uljnog sloja, kod hidrodinamičkog podmazivanja, mora biti veća od zbroja visina površinskih reljefa kliznih površina. Debljina sloja koja je jednaka zbroju visina površinskih reljefa površina naziva se kritičnom i ispod nje prestaju zakonitosti hidrodinamičkog podmazivanja.

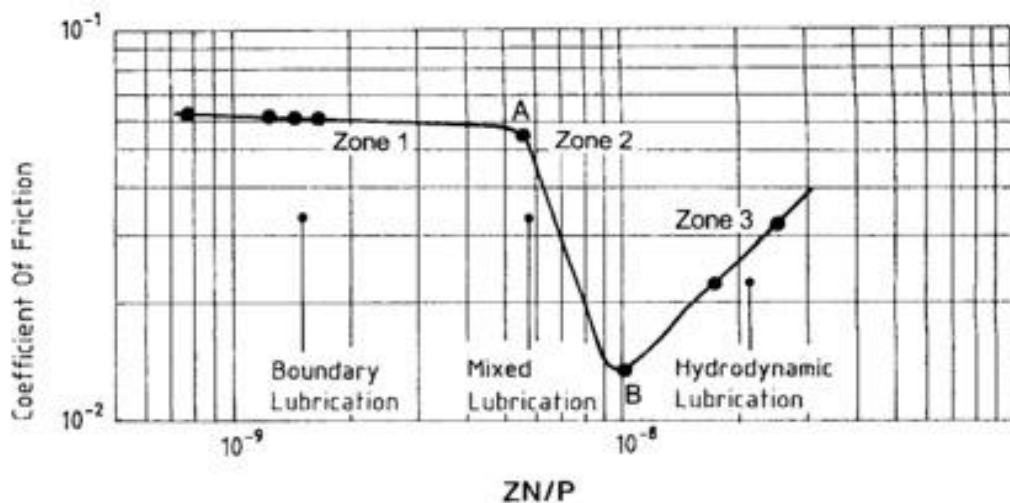


Slika 4. Prikaz hidrodinamičkog podmazivanja[3]

### 2.2.5. Stribeckova krivulja

Za primjereno prikazivanje koeficijenta trenja koristimo Stribeckovu krivulju. Prema slika 5. vidimo zone ili područja kroz koje prolazi Stribeckova krivulja. Postoje 3 različite zone, odvojene točkama A i B. U B točki, koeficijent trenja je na minimumu, a to je točka u

kojoj je uljni film dovoljno deo da osigura da nema kontakta između neravnina između dodirnih površina. U zoni 3 desno od točke B, debljina uljnog filma raste zbog povećanja viskoznosti, povećanja brzine ili smanjenja opterećenja, a koeficijent trenja raste kako se povećava debljina uljnog filma. Zona 3 je ujedno i zona hidrodinamičkog podmazivanja. Kako se uvjeti mijenjaju od B prema A, debljina uljnog filma se smanjuje tako da se neravnine na površinama uređaja trljaju jedna o drugu. U točki A debljina uljnog filma smanjena je gotovo na nulu, a opterećenje između dodirnih površina u potpunosti se prenosi na neravnine. Zona 1 je zona graničnog podmazivanja, gdje lijevo od točke A, koeficijent trenja je skoro neovisan o opterećenju, viskoznosti i brzini osovine. Zona 2 je poznata kao zona mješovitog podmazivanja, između točaka A i B. U Zoni 3 nema kontakta između površina i stoga ne dolazi do trošenja, ali kako uljni film postaje sve tanji u kretanju kroz zone 2 i 1, dolazi do sve jačeg kontakta između površina i stoga većoj sklonosti trošenju. Što se tiče odabira maziva, važne su zone 1 i 3, odnosno zone graničnog i hidrodinamičkog podmazivanja, jer će se pronalaskom najboljeg rješenja za zone 1 i 3 ujedno dobiti i rješenje za zonu 2[4].



Slika 5. Prikaz Stribeckove krivulje[4]

### **3. OPĆENITO O ULJIMA U POMORSTVU**

U ovom se poglavlju analizira važnost ulja u brodstrojarstvu i karakteristike pomorskih ulja. Naime, ulja imaju važnu ulogu u održavanju i pravilnom funkcioniranju brodskih sustava. Brodstrojarstvo, kao grana inženjeringa usmjerena na dizajn, izgradnju i održavanje brodova, zahtijeva upotrebu različitih vrsta ulja radi podmazivanja, hlađenja brtvljenja i zaštite od korozije. Ulja igraju vitalnu ulogu u smanjenju trenja unutar brodskih motora i strojeva, čime se povećava učinkovitost i produžava radni vijek ključnih komponenti. Osim toga, pravilno odabrana i održavana ulja pomažu u sprječavanju kvarova, čime se minimizira potreba za popravcima i zamjenom. Brodarska ulja često moraju izdržati ekstremne temperature, visoke tlakove i agresivne uvjete okoline. Ključne karakteristike uključuju viskoznost, termičku stabilnost, otpornosti na oksidaciju i dodatak aditiva koji poboljšavaju karakteristike ulja. Otpornost na morsku vodu i sposobnost održavanja svojih svojstava pod različitim uvjetima plovidbe također su ključni faktori koji čine brodarska ulja jedinstvenima u usporedbi s drugim tipovima ulja.

#### **3.1. VAŽNOST ULJA U BRODOSTROJARSTVU**

Ulja imaju ključnu ulogu u održavanju i pravilnom funkcioniranju brodskih sustava, čime pridonose dugovječnosti i pouzdanosti plovila. Brodovi su izloženi različitim izazovima, od surovih vremenskih uvjeta do dugotrajnih putovanja na otvorenom moru, kvalitetna ulja postaju neizostavan element sigurnosti i učinkovitosti pomorskog prijevoza.

Važnost ulja posebno dolazi do izražaja u radu brodskih motora koji su izloženi ekstremnim uvjetima rada. Podmazivanje ulja važno je za smanjenje trenja između pokretnih dijelova uređaja, poput klipova i ležajeva, čime se sprječava nepotrebno trošenje i produžava njihov životni vijek. Također, ulja se koriste za učinkovito hlađenje, čime se održava optimalna temperatura i sprječava pregrijavanje, što može uzrokovati ozbiljne kvarove. Brodovi često plove kroz različite brodske klime i geografske uvjete, izloženi slanoj vodi i agresivnim tvarima u moru. Ulja igraju važnu ulogu u zaštiti brodskih sustava od korozije i drugih štetnih utjecaja okoliša. Pravilno odabrana ulja osiguravaju učinkovito brtvljenje sustava, čime se sprječava prodor vode i drugih nečistoća, kako bi se održao integritet broda i njegovu operativnu sigurnost.



Stoga, ulja u brodstrojarstvu nisu samo tekućine koje podmazuju dijelove strojeva; one su temeljni čimbenik održavanja sigurnosti, operativne učinkovitosti i dugovječnosti brodskih sustava. Pravilna primjena i održavanje ulja postaju imperativ kako bi se osiguralo glatko i sigurno putovanje brodova diljem svijeta[5].

### **3.2. KARAKTERISTIKE BRODSKIH ULJA**

Karakteristike pomorskih ulja određuju njihovu sposobnost prilagodbe specifičnim uvjetima u pomorstvu. Pomorska ulja suočavaju se s raznolikim izazovima, uključujući ekstremne temperature, visoke tlakove te agresivne uvjete okoline, poput slane vode i konstantnih promjena uvjeta plovidbe. Njihove ključne karakteristike igraju presudnu ulogu u održavanju operativne učinkovitosti i dugovječnosti brodskih sustava.

Viskoznost je jedna od najvažnijih karakteristika brodskih ulja. Obično su predstavljena brojevima, odnosno gradacijom tipa ISO 32, 46 ili 68. Ova svojstva određuju sposobnost ulja da se podmazuje pod različitim uvjetima, poput varijacija temperatura i brzina brodskih uređaja. Brodska ulja moraju održavati optimalnu viskoznost kako bi se osiguralo učinkovito podmazivanje ključnih dijelova brodskih uređaja, što je od presudne važnosti za prevenciju trošenja i produženje životnog vijeka opreme.

Termička stabilnost brodskih ulja također je ključna karakteristika, posebno s obzirom na činjenicu da se brodovi često susreću s varijacijama temperatura tijekom putovanja. Ulja koja zadržavaju svoje stabilne osobine pod različitim temperaturnim uvjetima pomažu u održavanju pouzdanosti i performansi brodskih uređaja, minimizirajući rizik od kvarova uslijed termičkih stresova. Ulja s visokom termičkom stabilnošću održavaju svoje fizikalno-kemijske karakteristike pod utjecajem povećane temperature, čime sprječavaju degradaciju.

Otpornost na oksidaciju predstavlja još jedan ključni aspekt karakteristika brodskih ulja. Ono se može definirati kao otpornost maziva na reakciju s kisikom. Izlaganje zraku i visokim temperaturama može uzrokovati oksidaciju ulja, što može rezultirati gubitkom njihovih svojstava i performansi. Brodska ulja moraju sadržavati aditive koji poboljšavaju njihovu otpornost na oksidaciju, čime se osigurava stabilnost ulja tijekom dužih perioda upotrebe.

Aditivi su također važan dio karakteristika brodskih ulja. Oni poboljšavaju performanse ulja dodatnim svojstvima, poput smanjenja trenja ili povećanja zaštite od korozije. Pravilno

formulirana brodska ulja koriste se kako bi zadovoljila specifične potrebe različitih dijelova brodskih sustava, pružajući optimalnu zaštitu i podmazivanje [6].

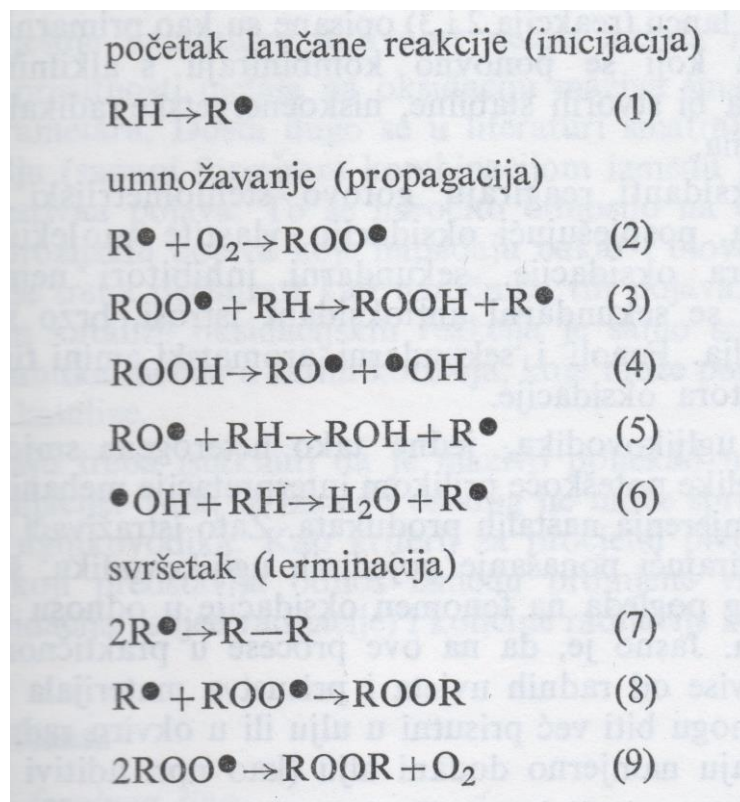
## 4. ADITIVI ZA MAZIVA

Već spomenuti aditivi se definiraju kao materije ili sredstva koja se dodaju mazivima zbog poboljšanja ili donošenja nekih novih osobina mazivima. Kako se mineralna ulja sastoje od prirodnih ugljikovodika, dodaje im se sintetska supstanca jednom riječju nazvano aditivi, jer ne mogu zadovoljiti sve veće zahtjeve koje uređaji traže. Razni aditivi utječu na fizička svojstva maziva, kao i na poboljšavanje kemijskih svojstava. Primjer fizičkih svojstava na koja aditivi utječu su viskoznotemperaturne karakteristike te mnoga druga svojstva, dok antioksidanti poboljšavaju kemijska svojstva maziva. Neki aditivi dobrinose mazivima karakteristike koje nisu ni posjedovale, kao sklonost nastajanje emulzije ili antikorozijska svojstva.

Industrija aditiva se proširila godine 1936. novim vrstama komercijalnih aditiva, kao što su inhibitori korozije, deterdženti za dizelska ulja i drugi. Prvo motorno ulje koje je dobilo paket aditiva sadržavalo je inhibitore oksidacije i korozije, kasnije dodano još i deterdžente. Pojavom višegradnih motornih ulja došlo je do povećanja potrošnje jer su sadržavali značajno povećanu količinu „paketa“ aditiva. Specifične grupe aditiva koje se primjenjuju u industriji kao što su aditivi protiv trošenja, Extreme pressure (EP) aditivi, polarni aditivi te aditivi protiv hrđe.

### 4.1. ADITIVI ANTIOKSIDANTI

Služe za poboljšanje stabilnosti maziva pri djelovanju kisika, te su najčešće korišteni aditivi. Oksidacija je kompleksan proces pod utjecajem raznih faktora, poput prisutnosti kisika, vode, temperature, te aktivnosti određenih materijala. Oksidacija se zbiva mehanizmom radikalske lančane reakcije, a započinje, znana i kao reakcija inicijacije nastajanjem slobodnih radikala. Reakcija inicijacije sastoji se od oksidacije ugljikovodika, prvo uz nastajanje alkilnog ( $R\bullet$ ), a zatim hidroperoksidnog ( $ROO\bullet$ ) radikala. Kasnije u reakciji propagacije ponovno dolazi do apstrakcije vodika i nastajanje hidroperoksida koji raspadom stvara dva nova radikala. Sporedni proizvodi hidroperoksida su ketoni, kiseline, aldehidi i drugi spojevi. Koncentracija radikala se u jednom trenutku dovoljno poveća, pa dolazi do terminacije, odnosno zaustavljanja lančane reakcije. Najpoznatiji antioksidanti su fenoli, spojevi sumpora i fosfora, te amini[1,2].



Slika 6. Mehanizam autooksidacije[2]

#### 4.1.1. Vrste antioksidanata

Antioksidanti fenolnog tipa su najpoznatiji i najbrojniji antioksidatni koji se pronalaze u svim granama tehnologije. S jednom aromatskom jezgrom, lakše nazvanog monofenol, dolazi do izražaja 2,6-diterc-butil-4-metilfenol, koji se proizvodi iz p-krezola i izobutena, koji moraju biti u prisutnosti sumporne kiseline. U relativno niskim temperaturama, primjerice kod turbinskog ili hidrauličkog ulja koristi se monofenol kao antioksidant, jer je lako isparljiv na temperaturi iznad 100°C. Zbog toga se onda preporučuje upotreba antioksidanata pod nazivom bifenoli jer sadrže dvije aromatske jezgre. Povodom toga imaju manju isparljivost zbog složenije molekule.

Antioksidanti spojevi dušika koji se koriste za poboljšanje djelovanja kod viših temperatura i smanjenje netopljivog taloga, koji nastaju njihovim raspadanjem. Amini su najznačajniji spojevi iz ove grupe, koji se dijele u dvije grupe pod nazivima heterociklički spojevi dušika, te arilni amini. Kod aril amina najpoznatiji je njegov metilni derivat nazvan p,p-tetra-metildiaminodifenilmetan, zbog svoje male isparljivosti. Također poznat je i fenil- $\alpha$ -naftilamin, jer je izbacio iz upotrebe fenil- $\beta$ -naftilamin, zbog toksičnosti. Ovi spojevi prije

svoga se koriste za temperature iznad 120°C. Njihova učinkovitost ponajviše ovisi o stupnju rafinacije ulja.

Sumporni spojevi su među najstarijim prirodnim antioksidantima mineralnih ulja. Elementarni sumpor se više ne upotrebljava zbog jake korozivnosti, iako je bio djelotvoran antioksidant. Veliki učinak na antioksidaciju i otpornost na opterećenje mogu imati sumporni spojevi koji sadrže bazno ulje. Derivati reakcije sumpora s nisko molekulskim polibutenima ili terpenima poznati su antioksidanti. Još su poznati dialkil sulfidi i polisulfidi, derivati tiofena i drugi. Sumporni spojevi ne sudjeluju samo kao antioksidanti, već i povećavaju otpor na opterećenje. Kao takvi prvi su bili napravljeni aditivi od prirodnih spojeva, odnosno biljna i životinjska ulja, no danas su naravno zamijenjeni kemijskim definiranim spojevima. Zaključujemo da su efikasniji monosulfidi između sintetskih sulfida kao antioksidanti za mineralna ulja, ali moraju sadržavati barem jednu alifatsku ili cikloalifatsku grupu koja će biti vezana za sumpor. U ovisnosti o brzini kojom reduciraju perokside zavisit će efikasnost različitih tipova monosulfida. Za razliku od sulfida, sumporni oksidi djeluju kao antioksidanti s manjom učinkovitošću.

Antioksidanti na bazi fosfora su termički stabilni, ali imaju određenu upotrebu. Najpoznatiji su sintetski proizvodi, trialkil ili triaril fosfit. U pogledu antioksidacijskog djelovanja kombinacijom nekih od fenolnih derivata fosfatne kiseline daje se bolji rezultat[2].

Antioksidanti spojevi sumpora i fosfora čine aditive jedne grupe i to: alkil ili aril ditiofosfat dvovalentnog metala, najčešće je to cink. Cinkdialkilditiofosfat ili skraćeno ZnDDP, je višefunkcionalni aditiv, koji se koristi u raznim područjima poput hidraulike, zupčaničkih ulja, masti, motornih ulja i prijenosnika snage. ZnDDP aditiv pokazuje izvrsnu sposobnost smanjenja trošenja i pruža zaštitu od korozije i oksidacije, čineći ga nezamjenjivim u industriji. U motornim uljima se koriste i primarni i sekundarni ZnDDP, pri čemu je sekundarni obično efikasniji u podmazivanju bregastih osovina. Često se ZnDDP kombinira s deterdžentima i disperzantima, a udio ZnDDP-a u tim uljima varira od 0,5% do 1,5% ovisno o korištenom alkilnom lancu. Međutim, postoje ograničenja u korištenju ZnDDP-a, kako bi se smanjio negativan utjecaj na emisiju ispušnih plinova. Za hidraulična ulja, ograničenja su još stroža, dopušteni udio ZDDP-a kreće se od 0,2% do 0,7%. U zupčaničkim uljima, ZDDP-ovi su prisutni u udjelu od 1,5% do 4%, obično u kombinaciji s inhibitorima korozije i EP (Extreme Pressure) aditivima[7].

## **4.2. ADITIVI ZA POBOLJŠANJE INDEKSA VISKOZNOSTI**

Najpoznatiji aditivi za poboljšanje indeksa viskoznosti su polimetakrilati (acyloidi) i poliizobuteni (opanol). Primjenjivani su u SAD-u jer se tražilo da hidraulička ulja manje mijenjaju svoju viskoznost s promjenom temperature, jer se nije moglo postići s rafiniranim mineralnim uljima. Također uvođenjem višegradnih motornih ulja, njihova primjena je bila upotrebljena[2].

### **4.2.1. Kemijski sastav poboljšivača indeksa viskoznosti**

Poliizobuteni (opanol) su prvi polimerni spojevi za namjenu poboljšivača. Ne utječu na poboljšanje točke tečenja gotovih proizvoda, te nemaju disperzantna svojstva, ali zato imaju odlična svojstva za povećanje viskoznosti ulja, oksidacijsku i termičku stabilnost. Polimetakrilati su polimerni esteri metakrilne kiseline. Oni posjeduju svojstva za poboljšanje točke tečenja. Različiti alkilmetakrilati razlikuju svoja svojstva prema dužini alkohola i stupnju polimerizacije. Ako im se ugrade polarne grupe u njihovu molekularsku strukturu, mogu se postići disperzantna svojstva[2].

### **4.2.2. Topljivost i mehanizam povećanja viskoznosti i indeksa viskoznosti**

Prilikom otapanja makromolekula polimera poboljšivača indeksa viskoznosti u mineralnom ulju nastaju koloidni sistemi s određenim fizikalnim svojstvima. Otopljene molekule polimera su izložene dvjema vrstama sila:

- Intramolekularne sile koje djeluju u samoj molekuli i kao rezultat toga je savijanje dugačkih molekula oko sebe. U stvari, radi se o smanjenju sile između otapala i polimera, čemu dovodi do stezanja dugog molekulskog skeleta i skupljanja volumena.
- Intermolekularne sile djeluju između otapala i molekula polimera. Kako se oni povećavaju smanjuju se intramolekularne sile, pa je efekt koji nastaje suprotan onom prvom. Tu se molekule nastoje odmotati i spojiti s molekulama otapala.

Poliizobuteni imaju sličnu kemijsku strukturu kao i mineralna ulja, pa se smatra za mineralna ulja kao dobro otapalo. Gledajući s druge strane, polimetakrilati kao poliesteri imaju različitu kemijsku strukturu od mineralnih ulja, zato se mineralno ulje smatra lošim otapalom[2].

#### **4.2.3. Smična stabilnost**

Ulja koja sadrže aditive za poboljšavanje indeksa viskoznosti ne ponašaju se u skladu s newtonskim zakonima o protoku tekućina, zbog toga se primjerice dinamička viskoznost mijenja pod utjecajem smičnog naprezanja. S povećanjem molekulske mase povećava se i osjetljivost poboljšivača indeksa viskoznosti na mehanička naprezanja. Između klipa i stijenki cilindra u motoru javlja se smično naprezanje, koje uzrokuje nepovratnu razgradnju molekula polimera na manje dijelove. Pad viskoznosti i indeksa viskoznosti uzrokuje smanjenje molekulske mase. Za utvrđivanje privremenog gubitka viskoznosti i stvarne viskoznosti ulja na niskim temperaturama mjeri se pomoću metode zvane Cold Cranking Simulator (ASTM D 2602) kod smičnog naprezanja. Brookfieldovim viskozimetrom utvrđujemo kad se radi o vrlo niskom smičnom naprezanju[2].

#### **4.3. ADITIVI ZA SNIŽENJE TOČKE TEČENJA**

Aditivi za sniženje točke tečenja važni su za poboljšanje tečnosti ulja pri nižim temperaturama. Od 1931. pa do danas upotrebljavaju se u mazivima. Deparafinizacija je proces koji se koristi za uklanjanje parafina iz baznih ulja, ali je skup proces jer zahtijeva velike troškove energije, koji se provodi na temperaturnoj razlici od -8 do -18°C. Ovisno o tipu ulja i raspona vrelišta mijenja se oblik formiranih kritala parafina. Aditivi za sniženje točke tečenja modificiraju kristale parafina, povećavajući temperaturnu razliku između točke tečenja i točke zamučivanja za više od 10°C. Da bi se postiglo optimalno djelovanje, ovi aditivi moraju sadržavati dovoljno duge alkilne ili polimetilenske grupe. Dugolančani alkil-fenoli i dialkil-esteri ftalne kiseline su najpoznatiji aditivi u ovom području, a njihova učinkovitost može se povećati dodavanjem više alkil grupa i produženjem lanca. Također, kopolimeri vinilacetata i etilena poznati su aditivi za sniženje točke tečenja[2].

#### **4.4. ADITIVI ZA POBOLJŠANJE OTPORNOSTI NA OPTEREĆENJE**

Poboljšanje otpornosti na opterećenje jedan je od prvih zahtjeva na kvalitetu maziva, jer mineralno ulje ne može zadovoljiti uvjete u graničnom podmazivanju. Dodavali su se razna životinjska i biljna ulja, kasnije metalni i sumporni spojevi. Danas se svrstava u posebnu grupu aditiva, koju čine aditivi za ekstremno visoke tlakove, polarni aditivi, te aditivi protiv trošenja[2].

##### **4.4.1. Polarni aditivi**

Modifikatori trenja, kako ih još zovu u stručnim literaturama, poboljšavaju mazivost, što znači sposobnost i brzu orijentaciju molekula prema metalnoj površini (polarnost) kao i efikasnost njihove adsorpcije na površini. Koriste se prirodni estri masnih kiselina, sintetički proizvodi kao i aminske kiseline masnih kiselina. Za obradu metala, naročito kod pripreme emulzija aminske soli masnih kiselina kao i njihovi amidi igraju važnu ulogu kod tih ulja. Kod motornih ulja smanjuju trenje u području graničnog podmazivanja kliznih metalnih površina, pa samim tim štede potrošnju goriva. Posebna pažnja se posvećuje izboru ovog tipa aditiva kod sredstava za obradu metala. Osim spomenutog, još jedna primjena je za sprječavanje bučnog rada. Za zupčaste prijenosnike kod automobila ulja se odlikuju limited-slip svojstvima, sadrže paket aditiva pripremljen od masnih alkohola, masnih kiselina ili masnih amina[2].

##### **4.4.2. Aditivi za zaštitu od trošenja**

Aditivi protiv trošenja djelotvorni su kod niskih opterećenja, niskih temperatura i prilikom dugog vremena trajanja. Najkompletniji aditivi protiv trošenja su metalni dialkil ili diarilditofosfati, korišteni u raznim industrijskim i motornim uljima. Trikezil fosfat, koji je fosforni spoj, također je poznat kao dobar aditiv. Najveću primjenu ipak imaju aditivi čija je metalna komponenta cink, ali interesantni su i drugi metali, poput antimona. Na bazi cinka, aditivi imaju najveću efikasnost na višim temperaturama (preko 150°C) pri čemu znatno smanjuju koeficijent trenja, a time i intenzitet trošenja[2].



### 4.4.3. Aditivi za ekstremno visoke pritiske (EP)

EP aditivi se koriste za zaštitu od visokih pritisaka i udarnih opterećenja u uslovima graničnog podmazivanja. U takvim okolnostima EP aditivi formiraju anorganska sjedinjenja sa metalnim površinama, koji preuzimaju na sebe ulogu čvrstog maziva. Zavisno od temperature i pritiska na mjestu kontakta, sumpor, fosfor i klor predstavljaju osnovu EP aditiva[2].

#### 4.4.3.1. Aditivi koji sadrže sumpor

Sumpor i sumporni spojevi zasnivaju se na stvaranju sulfidnog spoja na metalnoj površini, te se formiranje starta na 200°C. Iako elementarni sumpor ima dobra EP svojstva, jako je korozivan. Sumpor koji je prisutan u labilnoj formi ima bolju djelotvornost sumpornih spojeva. Disulfidi umjereno poboljšavaju EP karakteristike ulja, kao što su butilfenol disulfid, debenzil disulfid ili tetrametildibenzil disulfid. Ne koriste se samostalno, već se upotrebljavaju s aditivima koji sadrže fosfor ili klor. Bolju učinkovitost imaju spojevi s polisulfidnom vezom, jer atomi sumpora su pristuni u labilnoj aktivnoj formi. Sumporni produkti reaktivni su na obojene metale, dok se ističu legure bakra[2].

#### 4.4.3.2. Aditivi koji sadrže klor

Pod utjecajem visokog tlaka stvaraju se metalni filmovi klorida na točkama podmazivanja, te u prisustvu vode. Željezov (II) klorid tali se na 672°C i ima manju smičnu čvrstoću u usporedbi sa čelikom. Zavisno o temperaturi, koncentraciji i reaktivnosti atoma, ovisit će djelotvornost spojeva klorida. U praksi klorirani parafini sa 40 do 70 mas.% se upotrebljavaju, zbog osjetljivosti na vlagu i svjetlost, te lako mogu prijeći u klorovodik. Amini ili bazni sulfonati djeluju kao stabilizatori, odnosno neutraliziraju klorovodik. Razgradnja EP aditiva mora biti djelotvorna zbog dobivanja automarnog klora, a ne klorovodične kiseline, koja u prisustvu vlage izaziva jaku koroziju na metalnim površinama. Zato je broj spojeva ograničen koji sadrže klor[2].

#### 4.4.3.3. Aditivi koji sadrže fosfor

Djelujući kao EP aditivi, organski fosforni spojevi stvaraju metalne fosfide na metalnoj kliznoj površini na visokim temperaturama. U lakšim uvjetima graničnog podmazivanja

djelotvorniji su fosforni aditivi, za razliku od aditiva koji sadrže sumpor i klor. Spojevi koji se preporučuju kao EP aditivi su trikilfosfini, triaril fosfati, dialkil fosfati i butil fosfati[2].

#### **4.5. ADITIVI DETERDŽENTI**

To su aditivi koji sprječavaju taloženje nečistoća na dijelovima motora koji se nalaze pod utjecajem visokih temperatura. Mehanizmi djelovanja ovih aditiva temelji se na njihovoj sposobnosti da čiste metalne površine od proizvoda oksidacije i ne dopuštaju da se nakupljaju i talože po površinama i zahvaljujući svom alkalnom svojstvu mogu neutralizirati kemijski agresivne kisele produkte nastale sagorijevanjem goriva sa povećanim sadržajem sumpora. Parametar je Totalni Bazni Broj (TBN). Prvi produkti koji su se upotrebljavali kao deterdženti bili su neutralne ili alkalne soli aluminija. Drugi tipovi, iako se više ne koriste zbog nedostataka pripremljeni su također od alkalnih soli aluminija većinom kalcijevi derivati. Posebni tipovi su soli zemnoalkalijskih metala, alkili fosfonskih i tiofosfonskih kiselina, ali se sve manje upotrebljavaju zbog ograničenja sadržaja pepela u motornim uljima. Najviše se koriste sulfonati, fenati i silicilati, od kojih silicilati i fenati donose bolje rezultate. U određenim slučajevima ovi aditivi istovremeno pokazuju neka svojstva inhibicije korozije i hrđanja, pa se svrstavaju u grupu višefunkcionalnih aditiva[2].

#### **4.6. ADITIVI DISPERZANTI**

Bespepelni organski spojevi koji preventiraju flokulaciju i koagulaciju koloidnih čestica. Da bi se spriječilo formiranje taloga u motoru, disperzantnost nije dovoljna, zbog čega se dodavaju određeni spojevi koji posjeduju moć otapanja lakova i smolasto-asfaltnih supstanci. Definicija taloga nije kao vrsta taloga koji je nastao u dobro zagrijanom motoru, pretežno od smole i spojeva olova, bez vode, goriva i neizgorjelog ugljiva. „Hladni mulj“ je talog prve vrste, dok je „vrući mulj“ druge vrste. Zbog toga, danas se modernim motornim uljima dodaju bespepelni disperzanti, kako bi se spriječilo negativno djelovanje sastojaka „Hladnog mulja“.

Bespepelni disperzanti iako sadrže različite kemijske grupe, svi se odlikuju sadržajem dušika. Posjeduju polarni dio molekule, te im se tako omogućuje jaka adsorpcija na zagađene čestice, te drugi ugljikovodični dio koji ih čini topivima u ulju. Naglo su se razvili zbog velikog utjecaja na kvalitetu motornih ulja i ulja za pomorstvo, tako da su jedni od važnijih grupa aditiva. Mehanizam djelovanja sastoji se u zarobljavanju molekula nečistoća u ulju, održavaju

ih u disperznom stanju, odnosno sprječavaju grupiranje čestica, njihovo taloženje i začepljenje cirkulacijskih puteva. Također, moraju imati i deterdžentna svojstva[2].

#### **4.7. ADITIVI PROTIV KOROZIJE I HRĐE**

Djelovanjem kisika i vlage na metalne površine nastaje korozija. Svrha zaštite protiv korozije je spriječiti pristup kisiku i vlazi metalnoj površini. Treba razlikovati zaštitu od korozije i hrđe uzrokovanu vanjskim utjecajem i uzrokovanu unutar motora. Vanjski utjecaji su skladištenje u vlažnoj atmosferi ili prilikom transporta morem, dok kod unutarnje zaštite u prvom redu su kiseli produkti oksidacije i izgaranja, spojeva broma i klora iz benzina. Kao aditivi protiv hrđe određuju se spojevi koji, bili sami ili otopljeni u ulju, štite neku izloženu površinu od tri čimbenika nužna za uvjetovanje površinskih promjena. Ti čimbenici su voda, kisik te vremenski interval za izazivanje korozijske reakcije. Praktična iskustva potvrđuju da aditivi protiv hrđe su također dobri antikorozijski aditivi, dok je obrnuto rijedak slučaj. Različiti spojevi se danas koriste za zaštitu od korozije i hrđe. Sulfonske kiseline i neki sumporni spojevi su poznati aditivi protiv korozije i hrđe. Prilikom rafinacije bijelih ulja, dobije se natrijev sulfonat koji ima dobra antikorozijska svojstva. Također, derivati fosforne kiseline poput diarilfosfata ili cikloalkilamina s diakilfosfatima su jednako djelotvorni kao antikorozijski sustavi. Poznate su kombinacije dikarbonskih kiselina s kiselim esterima ortofosforne kiseline, topivi u ulju. Dušični spojevi se upotrebljavaju kao inhibitori hrđe za opću namjenu.

Zajedničko svojstvo aditiva protiv korozije i hrđe je priljublivanje na metalne površine, te formiranje zaštitnog sloja. Problemi zaštite metalnih površina od hrđe nisu samo ulje i voda, već i kvalitativno-kvantitativni sastav ulja koje je sposobno da se suprotstavi kontaktu voda-metal. Potrebno je naglasiti važnost temperature, jer ona može smanjiti homogenost zaštitnog filma. Poneki aditivi, koji su učinkoviti kod niske temperature, raspasti će se pri visokoj temperaturi, te pridonijeti korozijskim pojavama različite vrste[2].

#### **4.8. ADITIVI EMULGATORI**

Kod proizvodnje vodenih emulzija, koje se koriste za operacije obrade metala i kaljenja, najvažnije komponente su emulgatori. Sastoje se od 3 komponente: voda, ulje i emulgator. U graničnim slojevima gdje se ulje i voda ne miješaju, zbog velikih površinskih napetosti, uloga emulgatora je smanjivanje napetosti površine, a da istodobno utječe na regulaciju vlaženja metalne površine. Razlikujemo ionogene od neionogene. Razlika je u tome što ionogeni kod

kjih u vodi dolazi do električne disocijacije molekula, dok neionogeni nemaju električnog naboja. Podjela ionogenih emulgatora može biti anionaktivni i kationaktivni. Obje grupe se koriste kod mineralnih ulja. U kategoriji anionaktivnih pripadaju proizvodi koji se upotrebljavaju za maziva, obično su to oleinske kiseline, masne kiseline od loja, naftenske kiseline te mnogi drugi. Neionogeni emulgatori se ne primjenjuju kao emulgatori u većim razmjerima, jer su na dosta visokoj cijeni. To su produkti kondenzacije etilenoksida s alkilfenolima, alkilaminima i dr. Također, reakcijom masnih kiselina s nekim alkoholima stvara estere, koji su isto neionogeni emulgatori, gdje pripadaju gliceridi masnih kiselina, primjera glicerin monostearat. Emulgatore za mineralna ulja karakteriziraju dva različita dijela u svojoj molekuli, gdje je jedan lipofilan, odnosno posjeduje karakteristike topivosti u ulju, dok je drugi dio hidrofilan i djeluje kao suprotnost u molekuli. Još jedan segment u razlici emulgatora je postignuta stabilnost emulzije. Ukoliko su kapljice što manjih dimenzija raspršene u vodi, općenito se može reći da je emulzija stabilnija. Utjecaj veličine kapljica, osim za stabilnu emulziju, ima ulogu i na bolju obradu metalne površine. Ponekad se u emulziju dodaje spoj koji poboljšava topivost nekih komponenti u ulju te povećavaju brzinu emulgiranja. Te spojeve se naziva stabilizatorima, te su inače to alkoholi ili glikoli[2].

#### **4.9. ADITIVI PROTIV PJENJENJA**

Pjena u mazivim uljima ima negativan učinak, jer uzrokuje povećanu potrošnju, prekid podmazivanja i veću brzinu oksidacije maziva. Na području maziva koriste se aditivi protiv pjenjenja koji potječu od četiri kemijska sastava: organski polisilaksani, poliglikoli, soli kvarterne amonijeve baze i poliakrilati. Organski polisilaksani su napoznatiji, iako se upotrebljavaju i ostala tri tipa. Učinkovitost aditiva protiv pjenjenja ovisna je o stupnju disperzije koju aditiv ima u ulju. Silikoni su na bazi organskih polisilaksana, a njihova alkilna grupa obično je metilna, oskudnije etilna ili propilna grupa. Tekući silikoni u koncentraciji od 0,0001 do najviše 0,001% imaju najbolju djelotvornost. Moraju biti netopivi u ulju, fino dispergirani zbog sigurnosti, te moraju imati nižu napetost površine od ulja. Intenzivnim miješanjem i zagrijavanjem, postiže se stabilnost silikonske disperzije u mediju, gdje veličina kapljica neće biti veća od 10 $\mu$ m. Svojstvo protiv pjenjenja također posjeduju i polietilen glikol eteri i sulfidi. Ako posjedujemo čisto mineralno ulje, onda je stabilnost pjene ovisna o viskoznosti i napetosti površine. Nisko viskozna ulja stvaraju pjenu koja se sastoji od širokih mjehurića, dok ulja visoke viskoznosti stvaraju fino dispergirane male mjehuriće[2].

#### **4.10. OSTALI ADITIVI**

Osim navedenih aditivi, postoje i manje upotrebljavani aditivi u manjim količinama. Tu spadaju deemulgatori, koji sprječavaju stvaranje emulziju u slučaju prodiranja vode u sistem. Najčešće se koriste anionaktivni spojevi, kao što su: dinonilnaftalen sulfonati u obliku alkalnih ili zemnoalkalnih soli.

Aditivi protiv kapanja su polimeri, te su topljivi u ulju. Upotrebljavaju se kao poboljšivači indeksa viskoznosti, te se koriste u uljima za podmazivanje uljnom maglom.

Aditivi pokrivači mirisa su kemijski spojevi, koji pokrivaju neugodan miris mineralnog ulja ili produkta degradacije. Koriste se male količine, oko 0,01mas.%.

## 5. VRSTE BRODSKIH ULJA

U brodstrojarstvu se koriste različite vrste ulja, prilagođene specifičnim potrebama različitih sustava na brodu. Evo nekoliko uobičajenih vrsta brodskih ulja:

- Jednogradna ulja (Single Grade Oils) koriste se za podmazivanje klipova i ležajeva u klipnim motorima. Imaju visoku viskoznost i prilagođena su visokim tlakovima i brzinama.

- Višegradna ulja (Multi-Grade Oils) su ulja formulirana kako bi zadovoljila različite potrebe brodskih sustava. Imaju širi raspon viskoznosti i često se koriste u različitim dijelovima brodskih motora.

- Ulja za klipne kompresore koriste se za podmazivanje klipnih kompresora na brodu. Imaju posebne aditive za smanjenje trenja i optimalno podmazivanje.

- Ulja za vijčane kompresore namijenjena su podmazivanju vijčanih kompresora na brodovima. Pružaju pouzdano podmazivanje pod visokim pritiscima.

- Ulja za centrifugalne kompresore: koriste se za podmazivanje centrifugalnih kompresora, često s posebnim svojstvima prilagođenima ovim vrstama kompresora.

- Ulja za reduktore i prijenosnike: koriste se za podmazivanje zupčanika i ležajeva u reduktorima brodskih sustava.

- Ulja za hidrauličke sustave: koriste se u hidrauličkim sustavima brodova za prijenos snage i kontrolu različitih pokretnih dijelova.

Svaka od ovih vrsta ulja ima specifične karakteristike koje odgovaraju potrebama određenih brodskih sustava i uvjeta plovidbe.

Jednogradna ulja su često korištena za podmazivanje klipova i ležajeva u brodskim motorima, pružajući optimalno podmazivanje pod visokim tlakom i brzinama vrtnje. Za specifične primjene kao što su vijkovni kompresori ili hidraulički sustavi, koriste se posebne vrste ulja s prilagođenim svojstvima. Također, brodovi koriste višegradna ulja koja zadovoljavaju različite potrebe[8].

## **5.1. ULJA ZA KLIPNE KOMPRESORE**

U praksi, kompresor koji se najviše koristi je klipni kompresor. On je jednostavan uređaj, te se sastoji od par osnovnih elemenata: cilindar, ventili, klipni mehanizam i kućište kompresora. Koristi se za dobavu zraka do 4000 m<sup>3</sup>/h. Gledano sa strane konstrukcijskih rješenja, osnovni tip gradnje klipnih kompresora je stojeći jednoradni klipni kompresor. Jednostupanjski s jednim cilindrom ili više u V izvedbi su najmanji, te su pogonjeni elektromotorom. Maksimalni tlak zraka do 4 bara pri 160 do 300 o/min postiže se sa jednoradnim klipnim kompresorom. Rad klipnog kompresora odvija se ciklično, s usisavanjem i tlačenjem zraka s jedne strane klipa. Usisavanje se događa kada klip ide prema dolje s otvorenim usisnim ventilom, dok je tlačenje kada klip ide prema gore sa zatvorenim ventilima. Na kraju tlačenja, otvara se tlačni ventil kako bi se omogućilo istiskivanje stlačenog zraka iz cilindra. U trenutku istiskivanja zraka, dok je tlačni ventil otvoren, sav stlačeni zrak neće napustiti cilindar, jer zbog konstrukcije uvijek ostaje zračnost, odnosno jedan mali slobodni prostor. Dvotaktni naravno usisavaju i tlače zrak s obje strane. Ako se radi o višestupanjskim kompresorima, zrak se tlači u većem broju cilindara kroz koje prolazi u serijskom spoju. Do 4 bara koristi se jednostupanjski kompresor, dok dvostupanjski mogu postići tlak i do 15 bara. Korištenjem višestupanjskih kompresora dobiju se još veći tlakovi. Važno je nadzirati temperaturu zraka jer izlazna temperatura ne smije prijeći 200°C zbog mogućnosti zapaljenja kompresorskog ulja [9,10].

Ova ulja moraju pružiti učinkovito podmazivanje pod visokim tlakovima i brzinama kompresora. Često sadrže aditive za smanjenje trenja i poboljšanje termičke stabilnosti, pružajući optimalnu zaštitu klipova od trošenja i održavajući stabilnost sustava pod visokim opterećenjima.

### **5.1.1. Mobil Rarus 824**

Jedno od takvih ulja je Mobil Rarus 824 gradacije ISO 32. Pripada liniji ulja Mobil Rarus 800, primjenjena za zračne kompresore vrhunskih performansi za podmazivanje klipnih zračnih kompresora za teške uvjete rada, ali se ne preporučuje za zračne kompresore koji se koriste u primjenama aparata zraka za disanje. Formulirana su sa sintetičkim baznim uljima i sustavom aditiva visoke tehnologije koji osigurava iznimnu zaštitu opreme i pouzdanost za kompresore koji rade u uvjetima u kojima proizvodi na bazi mineralnih ulja ne ispunjavaju očekivanja. Mobil Rarus 824 pruža izvrsnu zaštitu od trošenja i izvanrednu otpornost na oksidaciju i

toplinsku degradaciju. Značajno smanjuje mogućnost požara i eksplozija u usporedbi s proizvodima na bazi mineralnih ulja. Iznimna karakteristika odvajanja vode smanjuje probleme stvaranja emulzije i prijenosa u nizvodne cjevovode i opremu. Korištenje ulja Mobil Rarus 824 može rezultirati čistim kompresorima i manjim naslagama u usporedbi s mineralnim uljima, što pogoduje dužem razdoblju rada između intervala održavanja. Imaju učinkovitu zaštitu od hrđe i korozije, što dovodi do zaštite ventila i smanjeno trošenje prstenova i cilindra. Posebno je učinkovito za kontinuirani rad na visokim temperaturama s temperaturama pražnjena do 200°C. Preporučuje se za jedinice s poviješću prekomjerne degradacije ulja, slabim radom ventila ili stvaranjem naslaga. Usklađeni su sa svim metalima koji se koriste u konstrukciji kompresora i s mazivima na bazi mineralnih ulja, ali će primjesa umanjiti performanse. Također ulje Mobil Rarus 824 usklađen je s brtvama izrađenim od fluoriranih ugljikovodika, silikona, fluorosilikona, polisulfida, vitona, teflona, i materijala s visokim udjelom nitrila Buna N NBR (iznad 36% akrilonitrila). Materijali koji se ne preporučuju uključuju Bune N NBR s niskim sadržajem nitrila (ispod 30% akrilonitrila), prirodnu i butilnu gumu, neopren, poliakrilat, stiren/butadien i klorsulfonirani polietilen.

## **5.2. ULJA ZA VIJČANE KOMPRESORE**

Radni medij, bilo da se radi o zraku, pari ili nekom drugom plinu, pretvara se u potencijalnu energiju iz mehaničke energije koja se dobije od elektromotora, turbine ili motora s unutarnjim izgaranjem. Vijčani kompresori imaju veliku rasprostranjenost što se tiče primjene, kao što je graditeljstvo, rafinerija, naftne i plinske bušotine, u rashladnoj tehnici i još mnogo drugih. Po svojim karakteristikama nalazimo ih između klipnih i centrifugalnih kompresora. Zbog konstrukcije i radnog procesa, vijčani kompresor ima određene prednosti u odnosu na ostale kompresore, a to je najprije izostanak dijelova koji se gibaju naizmjenice pravolinijski, kao što je kod primjera klipnih kompresora. Duži im je i vijek trajanja, odnosno traju najmanje pet puta dulje od klipnog kompresora. Ulje koje koriste predviđeno je za 8000 sati rada, pa ne zahtijevaju neko specijalno održavanje. Uobičajeno, vijčani kompresori se rade iz dva rotora koji su u međusobnom zahvatu, spojeni kao spirala, rotiraju unutar kućišta, pa ih treba razlikovati od jednovijčanih. Kako se pogonski i razvodni rotori ne dodiruju međusobno, a ni s kućištem, nije potrebno podmazivanje unutar radnog prostora, pa se dobije čisti komprimirani plin bez primjesa ulja. Međutim, da bi se postigao dobar volumetrijski stupanj kod malih kompresora, upotrebljava se unutarnje podmazivanje rotora[10].



Ulja za vijčane kompresore posebno su dizajnirana za podmazivanje vijčanih kompresora na brod. Ova ulja imaju visoku viskoznost i aditive koji pružaju izvrsnu zaštitu od trošenja i oksidacije. Primjena ovih ulja osigurava pravilno funkcioniranje vijčanih kompresora pod visokim pritiscima, čime se održava učinkovit rad brodskih sustava.

### **5.2.1. INA VIK 46**

Jedno od takvih ulja za vijčane kompresore je visokokvalitetno kompresorsko ulje mineralne osnove. Pripada uljima gradacije 46, odnosno njena kinematička viskoznost pri 40°C iznosi 46 mm<sup>2</sup>/s ili cSt. Ispunjava uvjete zbog dobre oksidacijske i termičke stabilnosti, ali isto tako dobro detergentski dispergantna svojstva i zaštita od korozije. Zbog svih tih uvjeta ovo ulje će dobro podnositi velika opterećenja i visoku temperaturu. Treba imati na umu da ova smjesa sadrži Fenol, Sulfonsku kiselinu i heptil derivate, pa treba pažljivo rukovati s uljem jer se smatra da ima endokrinu disrupciju za okoliš. Obavezno skladištiti u zatvorenom prostoru, da ne bi došlo do izlaganja jakom sunčevom svjetlu, ali isto tako prostorija mora biti dobro ventilirana. Ulje treba biti u originalnom spremniku pruženog od strane proizvođača. Interval zamjene ovog ulja je godinu dana ili ako kompresor dosegne prije toga 4000 radnih sati.

## **5.3. ULJA ZA CENTRIFUGALNE KOMPRESORE**

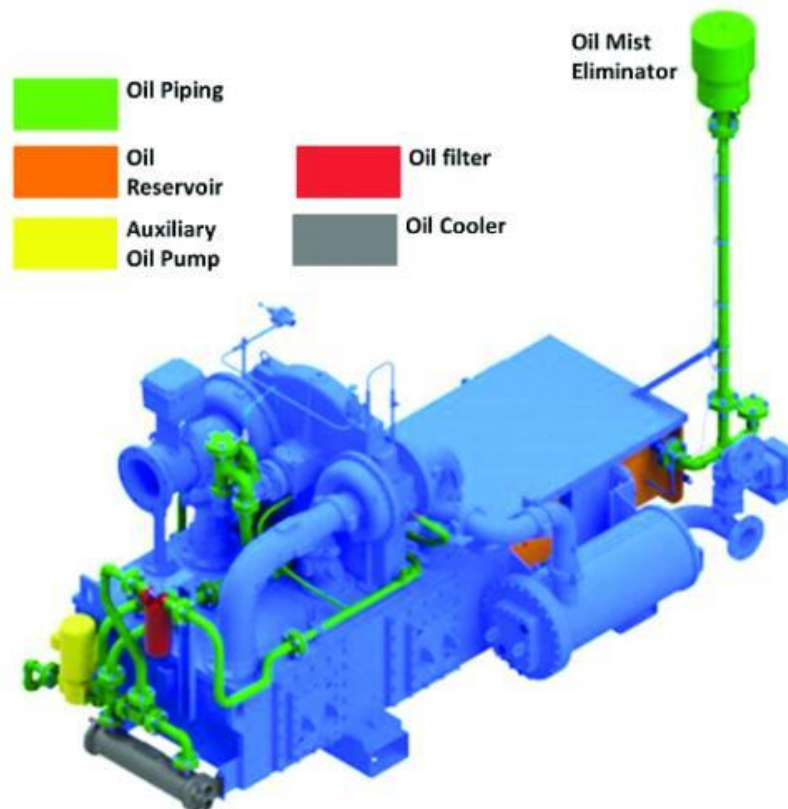
Centrifugalni kompresori oslanjaju se na rotore nalik na pumpe velike brzine za prijenos brzine plinovima radi povećanja tlaka. Viđaju se uglavnom u primjenama velikih količina kao što su komercijalne rashladne jedinice u rasponu od 100+ KS i u velikim pogonima za preradu gdje mogu dobiti čak 20.000 KS i isporučiti količine u rasponu od 200.000 cfm. Gotovo identične konstrukcije centrifugalnim pumpama, centrifugalni kompresori povećavaju brzinu plina izbacujući ga prema van djelovanjem rotora koji se okreće. Plin se širi u spirali kućišta, gdje se njegova brzina usporava, a tlak raste.

Centrifugalni kompresori imaju niže kompresijske omjere od potisnih kompresora, ali rade s velikim količinama plina. Mnogi centrifugalni kompresori koriste više stupnjeva za poboljšanje omjera kompresije. U ovim višestupanjskim kompresorima, plin obično prolazi kroz međuhlajnake između stupnjeva[10].

Ulja za centrifugalne kompresore prilagođena su potrebama za podmazivanje ovih specifičnih kompresora na brodu. Ova ulja često imaju posebne aditive za smanjenje trenja i poboljšanje termičke stabilnosti kako bi se održala optimalna učinkovitost pod visokim brzinama vrtnje centrifugalnih kompresora[5].

### **5.3.1. Compressor oil EP VDL**

Ova ulja su visokoučinkovita, te donose produljenje životnog vijeka kompresora, formulirana su s visokokvalitetnim parafinskim baznim uljima i kombinacijom aditiva koji su dizajnirani za izdržljivost i otpornost na oksidaciju i koroziju, gdje se dobije i zaštita od habanja pri ekstremnim tlakovima. Ova ulja će čuvati kompresor od rizika zapaljenja ili u najgorem slučaju eksplozije. Ulje EP VDL 32 i 46 se preporučuju za primarnu upotrebu u centrifugalnim kompresorima, ali isto tako nisu preporučeni za upotrebu kad je riječ o kompresorima zraka za disanje. Što se tiče sigurnosti, nije klasificirano kao opasno, ali sadrži 4-Nonil fenoksi octenu kiselinu što može uzrokovati pojavu alergijske reakcije. Ako dođe do zapaljenja, iako teško dolazi do njega, treba paziti na produkte izgaranja, jer se razvija složena mješavina tekućina, krutih čestica te raznih plinova kao što su ugljični dioksid. Kako je ulje netopljivo u vodi, ali je topljivo u ugljikovodicima, ne dozvoljava se zagađenje okoliša.



**Figure 1.0 – Centrifugal Compressor showing oil system**

*Slika 7. Prikaz uljnog sustava centrifugalnog kompresora [11]*

## **6. ANALIZA ULJA**

Analiza ulja u pomorstvu predstavlja važnu kariku u održavanju optimalnog funkcioniranja brodskih sustava. U ovom poglavlju istražuje se značaj analize ulja kao središnjeg dijela prakse održavanja na pomorskim plovilima. Bez obzira radi li se o glavnim pogonskim motorima, kompresorima ili hidrauličkim sustavima, pažljiva analiza ulja omogućuje dublje razumijevanje stanja sustava, pravovremeno prepoznavanje potencijalnih problema te efikasno upravljanje održavanjem.

### **6.1. Važnost analiza za održavanje brodskih sustava**

Analiza ulja u pomorstvu predstavlja ključnu praksu koja doprinosi održavanju i optimalnom funkcioniranju brodskih sustava. Ovaj proces pruža dublji uvid u stanje ulja, identificira eventualne nepravilnosti i omogućava pravovremeno poduzimanje preventivnih mjera. Analiza ulja ključna je za održavanje visokih standarda pouzdanosti i sigurnosti na brodu. Važnost redovite analize ulja ogleda se u sposobnosti prepoznavanja znakova potencijalnih problema u brodskim motorima i sustavima prije nego što dođe do ozbiljnijih kvarova. Analizom se mogu otkriti čestice trošenja, nečistoće, promjene u viskoznosti i druge abnormalnosti koje ukazuju na potrebu za intervencijom. Osim toga, praćenjem promjena u kemijskom sastavu ulja mogu se identificirati potencijalne poteškoće u sustavima za podmazivanje, hlađenje ili brtvljenje.

### **6.2. Metode analize i dijagnostike**

Postoji niz metoda analize ulja u pomorstvu koje omogućuju precizno praćenje stanja i performansi brodskih sustava. Jedna od ključnih metoda je spektrometrija, koja omogućuje identifikaciju i kvantifikaciju elemenata u ulju, poput željeza, bakra, kroma i drugih koji potječu od dijelova koji se troše. Mjeri submikronske metale veličine 6-10  $\mu\text{m}$ , te rezultate dobivene nazad u ppm-u.

Osim toga, viskoznost ulja može se odrediti pomoću viskozimetra, što pruža informacije o konzistenciji i fluidnosti ulja pri 40°C ili 100°C. Analiza sadržaja vode, jer je pojava vode u sustavima podmazivanja štetna. Ova analiza određuje količinu vode u ulju, izraženo u postocima(%) ili dijelovima na milijun(ppm).

Mora se spomenuti i PQ indeks, koji služi za određivanje relativne količine metala u uzetom uzorku ulja, odnosno mjeri masu feromagnetskih čestica trošenja/ostataka bez obzira na veličinu. Rezultat je indeks prikazan u cijelim brojevima bez jedinice. Ovo je izvrsna nadopuna na već spomenutu spektometriju[5].

## 7. SINTETIČKA ULJA

Sintetička maziva počela su se koristiti 1930-ih godina. To su maziva koja se dobivaju od umjetnih baznih ulja kojima se dodaju aditivi, koji će im poboljšati kemijske i fizikalne karakteristike. Iako zvuči dobro, proizvodnja sintetičkih maziva je skup i zahtjevan proces, pa je njihova cijena na tržištu visoka. Primjena sintetičkih ulja je u sustavima gdje postoje problemi zbog podmazivanja, odnosno gdje primjena klasičnih maziva ne daje učinka.

Kada govorimo o sintetičkim uljima, najviše se ističu PAG (Polyalkylene Glycol) i PAO (Polyalphaolefini). PAG ulja su formulirana na osnovi polialkilenglikola. Ova vrsta ulja ističe se izvrsnim termičkim i oksidacijskim stabilnostima, što ih čini otpornima na razgradnju pod visokim temperaturama. Također, PAG ulja su poznata po svojoj visokoj vodootpornosti i sposobnosti emulzije s vodom, čime postaju idealna za primjene gdje je prisutan rizik od vlage. PAG ulja se široko koriste u različitim industrijskim aplikacijama, uključujući kompresorska ulja. S druge strane, PAO ulja temelje se na polialfaoleinima. Imaju izuzetno širok raspon radnih temperatura, što ih čini korisnima u ekstremnim uvjetima visokih i niskih temperatura. PAO ulja također imaju visoku termičku stabilnost i otpornost na oksidaciju, što ih čini idealnim za uređaje koji zahtjevaju rad pod visokim temperaturama. Također se koriste u raznim industrijskim aplikacijama, uključujući i kompresorska ulja. Obe vrste sintetičkih ulja, PAG i PAO, pružaju izvanredne razine performansi i otpornosti na različite uvjete, zbog čega su itekako popularan izbor u mnogim industrijskim postavkama gdje nude pouzdanost i učinkovitost[12].

### 7.1. Shell Corena S4 R 46

Govoreći već o sintetičkim uljima, jedno od njih je Shell Corena S4 R 46. Napredno je sintetičko ulje za zračne kompresore s jedinstvenim paketom aditiva koje pružaju snažne performanse. Pri podmazivanju lamelnih i vijčanih kompresora zraka pruža najbolje djelovanje, jer koristi napredan paket aditiva koji pružaju zračnom kompresoru zaštitu i otpornost od nastajanja naslaga na komponentama. Shell Corena S4 R ulja omogućavaju interval izmjene čak i do 12.000 sati pri ispušnim temperaturama i višim od 100°C, naravno trebalo bi se posavjetovati prvo s proizvođačem stroja. Za vruću i vlažnu klimu ipak se preporuča skraćivanje tog intervala izmjene. Još jedna bitna karakteristika ovog ulja je da ima odličnu zaštitu od trošenja, pa tako štiti unutarnje površine kompresora. Sadrži bezpepelni paket aditiva, te tako produljuje radni vijek kritičnih dijelova poput ležajeva i zupčanika. Ova ulja teško

isparavaju i ne vežu se lako sa zraka, što nam u kombinaciji daje smanjenu potrebu za nadolijevanjem te povećava kvalitetu ispušnog zraka. Glavna joj je primjena za potopljene ili ubrizgavanjem podmazivane jednostupanjske ili dvostupanjske kompresore, gdje tlakovi znaju ići i preko 25 bara uz temperature ispušnog zraka preko 100°C. Shell Corona S4 R ulje je kompatibilno s mineralnim uljima te dozvoljava miješanje, iako miješanje može dovesti do smanjenja performansi. Posebnu pozornost treba posvetiti izbjegavanju miješanja Shell Corena S4 R proizvoda sa drugim određenim tipovima sintetičkih ulja. Kemijski sastav ovog ulja je mješavina aditiva i poliolefina. *Tablica 1.* će prikazati sastav. Treba imati na umu iako je ulje klasificirano da nije opasno za zdravlje i okoliš, sadrži dialkilni tiofosfatni ester koji može izazvati alergijsku reakciju, tako da izbjegavanje dugotrajnog dodira s kožom je poželjno.

Kao i svim uljima na brodu, preporuča se oprezno i pravilno rukovanje i skladištenje ovog proizvoda. Što znači da se spremnik treba čuvati dobro zatvoren i na hladnom mjestu, koji će biti dobro ventiliran. Isto tako odlaganje ovog ulja treba biti u skladu s MARPOL Konvencijom (MARPOL 73/78) koja pruža tehničke aspekte kontrole zagađenja s brodova.

Kemijski naziv	CAS-br. EZ-br. Indeks-br. Registracijski broj	Razvrstavanje prema UREDBA (EZ) br. 1272/2008 (CLP)	Koncentracija (% w/w)
Alkaryl amine	68411-46-1 270-128-1 01-2119491299-23	Repr. 2; H361	1 - 2,9
Dialkyl dithiophosphate ester	268567-32-4 434-070-2	Derm. senz. 1B; H317 Ozlj. oka 1; H318	0,1 - 0,9
(4-nonilfenoksi) octenu kiselinu	3115-49-9 221-486-2 01-2119982392-31	Ak. toks. 4; H302 Nagriz. koža 1B; H314 Derm. senz. 1A; H317 Ak. toks. vod okol. 1; H400 Kron. toks. vod. okol. 1; H410  Faktor M (Akutna toksičnost u vodenom okolišu): 1	0,01 - 0,099

*Tablica 1. Prikaz kemijskog sastava Shell Corena S4 R 46*

## 7.2. Cetus PAO

Još jedno sintetičko ulje za zračne kompresore, ali ovaj put formulirana s visokokvalitetnim PAO baznim tekućinama i aditivima za poboljšanje učinkovitosti. Ovo ulje se krasi toplinskom i oksidacijskom stabilnosti, što dovodi do dužeg životnog vijeka maziva pri radu na visokim temperaturama. Samim tim poboljšava i radne namjene kompresoru, jer mu daje maksimalnu moguću učinkovitost, što dovodi do smanjena zamjena ili popravaka. Cetus PAO ulje ima nisku isparljivost te izvrsno oslobađanje zraka čime doprinosi u smanjenju prenošenja ulja nizvodno i smanjenju nadopunu ulja. Od već spomenutih prednosti zbog polialfaolefina, pružaju i visok indeks viskoznosti, visoku točku paljenja i nisku točku tečenja, što pridonosi zaštiti od hrđe, pjenjenja i svojstva protiv trošenja bez pepela. Cetus PAO ulja napravljena su da pružaju najbolja svojstva za mnoge zračne kompresore, osobito prijenosne i stacionarne vijčane i rotacijske kompresore, kao i jednostupanjske i višestupanjske klipne kompresore. Iako se specifične preporuke razlikuju, većinom se koriste ulja gradacije ISO 32, 46 i 68 za rotacijske zračne kompresore, dok je veća viskoznost primjera ISO 100 ili 150 poželjna za klipne zračne kompresore. Kako klipni kompresori zahtjevaju maziva za kućište radilice i cilindra, Cetus PAO ulja su formulirana da zadovolje i taj zahtjev. Što se tiče zdravlja i štetnosti, napominje se sumnja na štetno djelovanje na plodnost, pa se apelira na korištenje sigurnosne opreme pri rukovanju uljem. Iako gori, nije lako zapaljivo. Treba paziti na produkte izgaranja, jer se stvara mješavina u zraku koja se sastoji od krutih čestica, tekućina i plinova koji uključuju ugljikov dioksid i monoksid. Kako može reagirati s jakim kiselinama ili jakim oksidirajućim sredstvima, kao što su nitrati, peroksidi, preporuča se pažljivo skladištenje u hladnim i dobro ventiliranim prostorijama. Kao i kod Shell Corone S4 R, odlaganje ovog ulja treba biti u skladu MARPOL Konvencije (MARPOL 73/78).



## 8. ZAŠTITA OKOLIŠA

*International Maritime Organization*, skraćeno IMO, posebna je agencija Ujedinjenih naroda koja se bavi regulacijama i standardima u pomorskom sektoru. Ujedno nudi smjernice i propise koji se odnose na uporabu, skladištenje i zbrinjavanje ulja na brodovima. Pod okriljem IMO-a, donesena je jedna od važnijih konvencija pod nazivom MARPOL, odnosno *Međunarodna konvencija o sprječavanju onečišćenja mora uljem*. Dakle MARPOL donosi standarde o sprečavanju onečišćenja ne samo ulje, već i sanitarnim otpadnim vodama i smećem. Njezine odredbe postavljaju standarde za ispuštanje maziva i goriva, uključujući i kompresorska ulja[13].

## 9. STANDARDI I SPECIFIKACIJE KOMPRESORSKIH ULJA

DIN 51 506 opisuje klasifikaciju i zahtjeve za maziva ulja koja se koriste u klipnim kompresorima s tlačnim komorama podmazivanim uljem. Maziva za vijčane kompresore s ubrizgavanjem ulja nisu uključeni u DIN 51 506. *Tablica 2.* prikazuje popis često upotrebljenih ulja s obzirom na gradaciju viskoznosti i preporučenosti od strane proizvođača kompresora[12].

Viscosity classification	Type Piston compressors	Screw compressors oil-injected	Sliding vane compressors	Turbo compressors (axial and radial)
ISO VG 32		MO HC-Oils PAO		TDL 32 TDL 32 EP Synth. Oils
ISO VG 46		MO HC-Oils PAO Poe		TDL 46 TDL 46 EP Synth. Oils
ISO VG 68 (SAE 20W-20)	MO PAO Diester	MO HC-Oils PAO POE	MO Diester HC-Oils	TDL 68 TDL 68 EP Synth. Oils
ISO VG 100 (SAE 30)	MO PAO Diester		MO Diester HC-Oils	

ISO VG 150 (SAE 40)	MO PAO Diester			
------------------------	----------------------	--	--	--

Tablica 2. Prikaz kompresorskih ulja na temelju viskoznosti [12]

Tablica 3. prikazuje zahtjeve ulja za zračne vijčane kompresore prema ISO/DP 6521

Category	ISO-L-DAH					ISO-L-DAG					Test Method
Viscosity Grades	32	46	68	100	150	32	46	68	100	150	ISO 3448
Viscosity @ 40°C, cSt +/- 10%	32	46	68	100	150	32	46	68	100	150	ISO 3104 (IP71)
Pour Point*, °C max.	-9					-9					ISO 3016 (IP15)
Copper Corrosion, max	1b					1b					ISO 2160 (IP154)
Rust	No rust					No rust					ISO/DP 7120A (IP135A)
Emulsion Characteristics Temp, °C Time (min) to 3ml Emulsion max.	54			82		54			82		ISO/DP 6614
	30					30					(ASTM D1401)
Foaming Characteristics	300 nil					300 nil					
Oxidation Stability Evapor.Loss, % max Sludge, % weight	To be decided					To be decided					To be established

Tablica 3. Zahtjevi za vijčane kompresore [12]

## 10. ZAKLJUČAK

Ulja su neophodna za podmazivanje i očuvanje brodskih sustava, čime se osigurava njihova dugovječnost i učinkovitost. Središnji element ovog sustava je glavni dizelski motor, generator glavne pogonske sile. Uz to, komprimirani zrak, sustavi hlađenja, grijanja, podmazivanja, goriva i pumpanja djeluju kao pomoćne komponente.

Ulja su od vitalnog značaja za održavanje strojeva, smanjujući trenje i habanje između pokretnih dijelova, pridonoseći dugovječnosti. Karakteristike pomorskih ulja uključuju visoku termičku stabilnost, prilagođenu viskoznost specifičnim uvjetima mora te otpornost na ekstremne temperature. Jednogradna ulja ciljano se koriste za određene dijelove, dok su višegradna prilagođena različitim komponentama. Ulja za klipne, vijčane i centrifugalne kompresore te reductore i prijenosnike, kao i hidrauličke sustave, prilagođena su specifičnim zahtjevima različitih dijelova broda i radnih uvjeta. Rana detekcija problema putem analize ulja ključna je za održavanje. Metode poput spektrometrije i senzorskih tehnologija omogućuju precizno praćenje stanja ulja i sustava, pružajući temelj za pravovremeno održavanje.

Iznimno je važna uloga dijagnostičkih metoda u održavanju brodskih sustava, čime se omogućuje pravodobno prepoznavanje potencijalnih problema i sprječavanje ozbiljnih kvarova. Svojstva kompresorskih ulja poput viskoznosti, termičke stabilnosti i otpornosti na oksidaciju su važni čimbenici u njihovoj primjeni u specifičnim pomorskim uvjetima.

Zahtjevi, standardi i regulacije za kompresorska ulja postavljaju temelje za sigurnu plovidbu i očuvanje okoliša, a njihovo pridržavanje ključno je za globalnu pomorsku zajednicu.

Primjena kompresorskih ulja na brodu široko je obuhvatila funkciju kompresorskih sustava, naglasivši utjecaj okoliša i istraživanje inovacija u tehnologiji ulja, kao i njihovu primjenu u drugim industrijama.

Neminovna je važnost dijagnostičkih metoda, nužnost redovitog održavanja i zamjene ulja kako bi se u konačnici osigurala besprijekorna funkcionalnost brodskih sustava.

Zaključno se može istaknuti kompleksnost i važnost kompresorskih ulja brodskih sustava. Postoji potreba za stalnim prilagodbama, inovacijama i sukladnosti s normama kako bi se osigurala sigurna, učinkovita i održiva plovidba. Od kompresorskih se ulja očekuje, naime, da osiguraju optimalan rad i dugovječnost raznovrsnih sustava na brodu.

## LITERATURA

- [1] E. Tireli, E. Dvornik, J. Orović, J.: Maziva i njihova primjena na brodu, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka 2010.
- [2] Savez jugoslavenskih društava za primjenu goriva i maziva, Maziva za podmazivanje, Jugoma, Zagreb, 1986.
- [3] <https://www.maziva.org/podmazivanje/teorije-podmazivanje>
- [4] A.R. Lansdown; Lubrication and Lubricant Selection – A Practical Guide, Professional Engineering Publishing Limited, London, 2004.
- [5] Pirro, D.M., Webster, M., Daschner, E. Lubrication Fundamentals, Revised and Expanded, 3rd Edition. 2016.
- [6] Carter, B.H. Marine lubricants. In: Mortier, R.m., Orszulik, S.T., (Eds). Chemistry and technology of lubricants, Second edition, pp. 287-305. Springer-Science-Business Media, B.V  
Dostupno na: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-95-017-1021-3\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-95-017-1021-3_10)
- [7] Rudnick, L.R. Lubricant Additives: Chemistry and Applications, Third Edition, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2017.
- [8] Totten, G.T., De Negri, V.J. *Handbook of Hydraulic Fluid Technology*, Second Edition, 2011.
- [9] V. Koroman, R. Mirković: Hidraulika i pneumatika, Školska knjiga, Zagreb, 1991.
- [10] F. Orest: Kompresori, FESB Interna skripta, Split, 1997.
- [11] Compressed Air & Gas Institute. Lubricants for Centrifugal Air Compressors. Dostupno na: <https://www.airbestpractices.com/technology/air-compressors/lubricants-for-centrifugal-air-compressors>
- [12] Mang, T., Dresel, W. *Lubricants and Lubrication*, 2nd Edition. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, 2007.
- [13] International Maritime Organization; List of IMO Conventions, 2020. Dostupno na: <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/ListOfConventions.aspx>

## POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz graničnog podmazivanja[3] .....	4
Slika 2. Prikaz elastohidrodinamičkog podmazivanja[3].....	5
Slika 3. Prikaz podmazivanja miješanim uljnim slojem[3].....	5
Slika 4. Prikaz hidrodinamičkog podmazivanja[3] .....	6
Slika 5. Prikaz Stribeckove krivulje[4] .....	7
Slika 6. Mehanizam autooksidacije[2] .....	12
Slika 7. Prikaz uljnog sustava centrifugalnog kompresora [11].....	27

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Prikaz kemijskog sastava Shell Corena S4 R 46.....	31
Tablica 2. Prikaz kompresorskih ulja na temelju viskoznosti [12] .....	34
Tablica 3. Zahtjevi za vijčane kompresore[12] .....	34

## PRILOZI

### Prilog 1. Prikaz Sintetičkog Ulja Cetus PAO

<b>ISO Grade</b>	<b>32</b>	<b>46</b>	<b>68</b>	<b>100</b>	<b>150</b>
<i>Product Number</i>	293024	293025	293026	293027	293028
<i>SDS Number</i>	28999	28999	29718	29718	29751
API Gravity	30.6	36.6	36.0	35.4	34.6
Viscosity, Kinematic cSt at 40°C cSt at 100°C	32.0 6.1	46.0 8.1	68.0 10.4	100 14.0	150 19.0
Viscosity, Saybolt SUS at 100°F SUS at 210°F	150 45.6	214 51.4	316 60.6	464 74.0	695 93.8
Viscosity Index	134	136	141	142	145
Flash Point, °C(°F)	250(482)	250(482)	240(464)	260(500)	266(510)
Pour Point, °C(°F)	-45(-49)	-46(-51)	-47(-53)	-48(-54)	-49(-56)

Prilog 2. Fizikalna svojstva INA Komprina ulja

**Fizikalno kemijske karakteristike:**

Svojstva	INA Komprina							Metoda
	32	46	68	100	150	220	320	
Gustoća kod 15 °C, g/cm <sup>3</sup>	0,875	0,875	0,880	0,885	0,890	0,895	0,900	ASTM D 4052
Kinematička viskoznost kod 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	32,0	46,0	68,0	100,0	150,0	220,0	320,0	ISO 3104
Indeks viskoznosti	96	95	94	92	91	90	89	ISO 2909
Plamište (COC), °C	210	225	235	250	260	270	280	ISO 2592
Tecište, °C	-12	-12	-10	-9	-9	-8	-8	ISO 3106
Neutralizacijski broj, mg KOH/g	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	ISO 6618
Antikorozivna svojstva	0	0	0	0	0	0	0	ASTM D 665
Podnošenje opterećenja (FZG) - stupanj štetnog opterećenja	11	11	11	11	11	11	11	CECL-07-A-95
Oksidacijska stabilnost - koks nakon oksidacije zrakom uz prisustvo Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % (m/m)	1,1	1,2	1,3	1,5	0,6	1,0	1,4	DIN 51352-2 ASTM D 189
Svojstva 20 % (v/v) vakuum destilacijskog ostatka - koks po Conradsonu, % (m/m) - kinematička viskoznost kod 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	0,03 57,5	0,05 82,2	0,07 105,2	0,12 163,0	0,26 259,1	1,33 369,4	1,53 637,7	ASTM D 1160 ASTM D 189 ASTM D 445



Prilog 3. Prikaz svojstva ulja Shell Corena S4 R

Svojstva			Standard	Shell Corena S4 R 46
ISO gradacija viskoznosti			ISO 3448	46
Kinematička viskoznost	@40°C	mm <sup>2</sup> /s	Astm D445	46
Kinematička viskoznost	@100°C	mm <sup>2</sup> /s	Astm D445	7.5
Indeks viskoznosti			DIN ISO 2909	135
Gustoća	@15°C	kg/m <sup>3</sup>	Astm D 1298	843
Pisamšte		°C	Astm D 92 (COC)	230
Otpuštanje zraka		mins		2
FZG test opterećenja		Stupanj zaribavanja	CEC-L-07-A-95	>12
Stišanje		°C	Astm D 97	-48
Deemulzibilnost		mins	Astm D 1401	10

Prilog 4. Prikaz svojstva ulja EP VDL

Typical test data						
Test	Test Methods	Results				
Viscosity Grade		32	46	68	100	150
<b>Shelf Life: 60 months from date of filling indicated on the product label</b>						
Visc. Kinematic @ 40Deg C	ISO 3104	32	46.48	69.14	99.13	151.4
Visc. Kinematic @ 100Deg C	ISO 3104	5.4	7.11	9.29	11.87	15.34
Visc. Index	ISO 2909	105	112	111	109	103
Colour	ISO 2049	L0.5	L0.5	L0.5	L0.5	<3
Flash Point, Deg C	ISO 2592	224	230	252	278	282
Pour point, Deg C	ISO 3016	-33	-33	-33	-33	-33
TAN, mg KOH/g	ASTM D0664	0.09	0.1	0.08	0.08	0.08
Density, 15 Deg C, Kg/l	ASTM D1298	0.874	0.879	0.8351	0.8665	0.8772
Air Release @ 50 Deg C, min	ISO DIS 9120	5	5.1	4.7	14.1	20
Foam Seq. I, IAB ml, max	ISO 6247	50	50	50	50	50
Foam Seq. I, AFT 10 ST ml	ISO 6247	0	0	0	0	0
Cu Corrosion, 3h, 100 Deg C	ASTM D0130	1a	1a	1a	1a	1a

Prilog 5. Svojstva ulja Mobil Rarus serije 800

Property	824	827	829
Grade	ISO 32	ISO 100	ISO 150
Copper Strip Corrosion, 3h, 121C, ASTM D130	1B	1B	1B
Flash Point, Cleveland Open Cup, °C, ASTM D92	244	270	270
Foam, Sequence I, Stability, ml, ASTM D892	0	0	0
Foam, Sequence I, Tendency, ml, ASTM D892	10	10	10
Kinematic Viscosity @ 100 C, mm <sup>2</sup> /s, ASTM D445	5.5	10.12	13.2
Kinematic Viscosity @ 40 C, mm <sup>2</sup> /s, ASTM D445	29.5	107.5	158
Pour Point, °C, ASTM D5950	-54	-36	-33
Rust Characteristics, Procedure A, ASTM D665	PASS	PASS	PASS
Total Acid Number, mgKOH/g, ASTM D974			0.14
Total Acid Number, mgKOH/g, ASTM D974 (mod)	00.6	0.15	
Viscosity Index, ASTM D2270	127	66	70