

# Maziva ulja za podmazivanje dizel motora

---

**Komuškić, Ivana**

**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:187:540408>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-04**



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

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**IVANA KOMUŠKIĆ**

**MAZIVA ULJA ZA PODMAZIVANJE DIZEL MOTORA**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2023

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**POMORSKI FAKULTET**

**MAZIVA ULJA ZA PODMAZIVANJE DIZEL MOTORA**

**DIESEL ENGINE LUBRICATING OIL**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Goriva, maziva i voda

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

Komentor: Davor Lenac, dipl. ing.

Student: Ivana Komuškić

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112068226

Rijeka, svibanj 2023.

Student/studentica: Ivana Komuškić  
Studijski program: BS  
JMBAG: 0112068226

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/studentica - autor

Ivana Komuškić

(potpis)

Student/studentica: IVANA KOMUŠKIĆ

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112068226

#### IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

Maziva ulja za podmazivanje dizel motora  
(naslov završnog rada)

izradio/la samostalno pod mentorstvom

Dean Bernečić  
(prof. dr. sc. / izv. prof. dr. sc. / doc dr. sc. Ime i Prezime)

te komentorstvom Davor Lenac

stručnjaka/stručnjakinje iz tvrtke \_\_\_\_\_  
(naziv tvrtke).

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

Student/studentica

Ivana Komuškić  
(potpis)

Ime i prezime studenta/studentice

## SAŽETAK

Pod pojmom maziva, podrazumijevaju se krute, tekuće i plinovite materije čija primjena utječe na smanjenje trenja između dodirnih površina u relativnom gibanju, a kod brodskih dizelskih motora, primjenjuju se za podmazivanje gotovo svih pokretnih mehaničkih elemenata. Budući da su brodski dizelski motori složeni strojevi, koji tijekom rada generiraju veliku količinu topline, zahtijeva se uporaba visokokvalitetnih maziva. Takva maziva omogućavaju odvođenje topline (kako bi se održala normalna radna temperatura), smanjenje trenja i trošenja te pogoduju stvaranju tankog uljnog filma koji štiti dijelove motora. Ulja za podmazivanje sastoje se od baznih ulja i određenih dodataka (aditiva). Ovisno o tipu ulja, upotrebljavaju se različiti aditivi, a najznačajniji su poboljšivači indeksa viskoznosti, poboljšivači temperature tečenja, antipjenušavci, aditivi za zaštitu od korozije, oksidacije, ekstremnih tlakova te ostali aditivi spomenuti u radu. Kako bi se produljio vijek trajanja dizelskog motora, uz pravilno podmazivanje i odabir odgovarajućeg tipa maziva, važno je redovno provođenje analize ulja koje se provodi tijekom rutinskog održavanja sa svrhom dobivanja značajnih i točnih informacija o stanju maziva i stroja.

**Ključne riječi:** aditivi, analiza ulja, podmazivanje, trenje, viskoznost

## ABSTRACT

The term lubricant refers to solid, liquid, and gaseous substances whose application affects the reduction of friction between contact surfaces in relative motion, and in the case of marine diesel engines, they are used to lubricate almost all moving mechanical elements. Since marine diesel engines are complex machines that generate a large amount of heat during operation, the use of high-quality lubricants is required. Such lubricants enable heat dissipation (to maintain normal operating temperature), reduce friction and wear, and favor the creation of a thin oil film that protects engine parts. Lubricating oils consist of base oils and certain additives. Depending on the type of oil, different additives are used, and the most important are viscosity index improvers, pour point improvers, anti-foaming agents, additives for protection against corrosion, oxidation, extreme pressures, and other additives. To extend the service life of diesel engines, along with proper lubrication and selection of the appropriate type of lubricant, it is important to regularly carry out an oil analysis, which is carried out during routine maintenance to obtain significant and accurate information about the condition of the lubricant and the machine.

**Key words:** additives, friction, lubrication, oil analysis, viscosity

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. POJAVA TRENJA I PODMAZIVANJE .....	2
2.1. TRENJE .....	2
2.2. PODMAZIVANJE.....	3
2.2.1. Podmazivanje graničnim slojem .....	4
2.2.2. Miješano podmazivanje .....	5
2.2.3. Elastohidrodinamičko podmazivanje.....	5
2.2.4. Hidrodinamičko podmazivanje .....	6
3. PODJELA MOTORNIH ULJA .....	8
3.1. BAZNA ULJA .....	8
3.2. MINERALNA MOTORNA ULJA.....	9
3.2.1. Parafinski (Alkanski) .....	10
3.2.2. Naftenski (Cikloalkanski) .....	11
3.3. SINTETIČKA MOTORNA ULJA .....	11
4. TEHNOLOGIJA ZA PROIZVODNJU BAZNIH ULJA.....	13
4.1. KLASIČNA (SOLVENTNA) TEHNOLOGIJA .....	13
4.1.1. Vakuumska destilacija .....	14
4.1.2. Deasfaltacija.....	14
4.1.3. Solventna ekstrakcija .....	14
4.1.4. Deparafinacija .....	14
4.1.5. Hidroobrada.....	14
4.2. HIDROKREKING TEHNOLOGIJA .....	15
4.3. HIBRIDNA TEHNOLOGIJA.....	16
5. ADITIVI ZA BAZNA ULJA .....	17
6. MAZIVA ULJA .....	19
6.1. VIZKOZNOST.....	19
7. KLASIFIKACIJA MAZIVIH ULJA .....	22
7.1. KLASIFIKACIJA ULJA PREMA VIZKOZNOSTI .....	22
8. MAZIVA ULJA U POMORSTVU.....	24
8.1.1. Ulja za motore s križnom glavom .....	25
8.1.2. Ulje za srednjohodne klipne motore .....	26
8.1.3. Ulje za brzohodne klipne motore .....	27
8.2. IZBOR MOTORNOG ULJA OVISNO O UPOTRIJEBLJENOM GORIVU	27
8.3. Razvoj INA maziva.....	28

8.4. INA MAZIVA ZA BRODSKE MOTORE.....	28
8.4.1. INA Actinia B 50 .....	28
8.4.2. INA Gorgonela S.....	29
8.4.3. INA Rubella .....	29
8.4.4. INA Sagartia.....	30
9. ANALIZA ULJA .....	32
9.1. KARAKTERISTIKE ULJA ZA PODMAZIVANJE .....	34
9.1.1. Indeks viskoznost (VI) .....	34
9.1.2. Bazni broj (BN).....	34
9.1.3. Kiselinski broj (AN).....	35
9.1.4. Sadržaj vode .....	35
9.1.5. Plamište (točka/temperatura paljenja).....	36
9.1.6. Netopljive tvari.....	36
9.1.7. Sadržaj metala u ulju.....	37
9.1.8. Oksidacija.....	38
9.1.9. Sulfatizacija.....	38
9.1.10. Čađa .....	38
9.1.11. Asfalteni .....	38
9.1.12. PQ indeks .....	38
9.1.13. Ispitivanje pomoću bugačice (Blotter test) .....	39
9.2. PRILOZI .....	41
10. ZAKLJUČAK .....	47
LITERATURA.....	48
POPIS SLIKA .....	49
POPIS TABLICA .....	49



## 1. UVOD

U ovom radu prikazan je presjek mazivih ulja čija je primjena neophodna, kako u pomorstvu, tako i u drugim granama industrije. Za siguran i neometan rad cjelokupnog brodskog postrojenja važno je pravilno i kvalitetno podmazivanje, a na što znatno utječe odabir odgovarajućeg tipa maziva. Važni elementi pri odabiru maziva za podmazivanje brodskog sustava uključuju izbor odgovarajućeg baznog ulja, mjesta primjene, ispravne viskoznosti te odabir odgovarajućih aditiva. Za produljenje vijeka trajanja ulja, te samim time cjelokupnog postrojenja koje se njima podmazuje, od iznimne je važnosti održavati maziva čistima u granicama dozvoljenih parametara i bez prisustva vlage. Tijekom rada motora s unutarnjim izgaranjem, maziva bivaju izložena različitim opterećenjima (toplinsko, mehaničko). To dovodi do kontaminacije maziva produktima izgaranja, kiselim plinovima, vlagom i različitim česticama koje nastaju trošenjem dijelova motora, što utječe na degradaciju ulja za podmazivanje. Kako bi se utvrdio sadržaj potencijalno štetnih čestica, potrebno je pravilno provođenje analize ulja, prema određenim uputama od strane konstruktora/proizvođača motora/ulja.

Analiza rabljenog ulja važan je segment u održavanju motora. Analizu maziva moguće je provesti na brodu uz korištenje prijenosne opreme te ispitivanjem u laboratoriju gdje se dobivaju detaljniji rezultati analize, a omogućavaju točnije utvrđivanje ispravnosti rada motora. Kako bi se utvrdilo stvarno stanje maziva i njegova pogodnost za daljnju uporabu, važno je pravilno uzorkovanje koje obuhvaća sljedeće parametre: mjesto i način uzimanja uzorka, vremenski razmak između uzimanja uzoraka te osnovne informacije potrebne za analizu.

## 2. POJAVA TRENJA I PODMAZIVANJE

Maziva su tvari specifičnih kemijskih i fizikalnih svojstava koja služe za podmazivanje prostora između dvaju međusobno povezanih članova nekog mehanizma. Mehanizmi se kreću jedan u odnosu na drugi, a zajedno predstavljaju kinematski par.

Primjena maziva na brodu razlikuje se od primjene na kopnu, stoga je vrlo važno poznavati način rada i uvjete podmazivanja brodskog sustava kako bi sama primjena bila odgovarajuća [1]. Prema agregatnom stanju, maziva mogu biti tekuće, krute ili plinovite tvari. Dvije su osnovne podjele mazivih tvari, a dijele se na:

- maziva ulja
- mazive masti.

Maziva ulja proizvode se od baznih ulja i odgovarajućih dodataka (aditiva).

Mazive masti proizvode se od baznih ulja, odgovarajućih aditiva te ugušćivača.

Pravilo koje se odnosi na sva maziva glasi: bazna ulja + odgovarajući paket aditiva = maziva ulja + ugušćivači = mazive masti.

### 2.1. TRENJE

Trenje je sila ili otpor koji se suprotstavlja relativnom gibanju spregnutih površina. Prilikom preobrazbe energija pojavljuje se trenje koje dio mehaničkog rada pretvara u toplinu. Toplina nastala trenjem prenosi se posredno ili neposredno na okolinu i time proces čini nepovratnim. Vrlo je važno da se prilikom preobrazbe energija, trenje što manje pojavljuje jer su samim time gubitci energije u okolinu manji [1]. U slučaju kada je trenje slabo i konstantno, klizanje će biti mirno i jednostavno. S druge strane, trenje može biti iznimno neujednačeno, a što može dovesti do pregrijavanja površina ili njihova oštećenja.

Tribologija je znanost koja se bavi trenjem, a maziva su sredstva koja se koriste za smanjenje trenja. Osim trenja - trošenje i podmazivanje jedan su od uvjeta koje ulja za podmazivanje moraju zadovoljiti.

Područja u kojima se primjenjuje tribologija [5]:

- mehaničke konstrukcije u kojima je djelovanje trenja zanemarivo (zupčanici, ležajevi, klizni elementi)
- materijali (novi materijali, polimeri, metali)
- obrada materijala (sredstva za hlađenje i podmazivanje, alatni materijali, lako obradivi materijali)
- podmazivanje (ulja, masti, sastavnice mazivih tvari).

Neki razlozi zbog kojih se povećala potreba za smanjenjem trenja i trošenja [5]:

- duži vijek trajanja radnih sustava
- povećanje učinkovitosti
- smanjenje troškova održavanja
- veća pouzdanost

Glavna uloga primjene maziva u postupku podmazivanja sprječavanje je izravnog dodira međusobno spregnutih površina, kako bi im se smanjilo trenje i trošenje. Osim smanjenja trenja i trošenja, maziva za vrijeme cirkulacije kroz sustav vrše bitnu zadaću tako što odvođenjem topline pomažu u postupku hlađenja motora, brtve na tarnom (kliznom) mjestu, sprječavaju koroziju, čiste motor uklanjanjem naslaga ugljika i sitnih metalnih čestica te smanjuju buku i vibracije na ležajevima. Na brodu je pojava trenja uglavnom nepoželjna budući da uzrokuje gubitke energije i utječe na trošenje dijelova, što utječe na povećanje troškova održavanja te se ubrzava potreba za njihovom zamjenom. Trenje kod strojnih dijelova nastaje uslijed fizičkog kontakta dvaju strojnih dijelova koji, ovisno o sili i otporu, djeluju jedan na drugoga [1]. Neki od strojnih elemenata kod kojih je trenje nepoželjno su: klizni ležajevi, kotrljajući ležajevi, vodilice, brtve, zupčani i lančani pogoni, vijčani prijenos, klipni prsteni/cilindri, ventil/vodilica ventila, bregasti mehanizam, postupci obrade plastičnim deformiranjem, postupci obrade skidanjem strugotine [7]. Kod svake površine koja je strojno obrađena, mikroskopom se mogu vidjeti sitne neravnine koje se razlikuju ovisno o postupku obrade (brušenje, blanjanje, tokarenje). U slučaju kada su dvije takve površine spregnute i klize jedna preko druge, suprotni vrhovi neravnina suprotstavljat će se svakom klizanju, a time dolazi do promjene površine dodirnih dijelova zbog habanja, istrošenosti i iskrivljenja. Na svladavanje sile trenja troše se znatne količine mehaničke energije. Time dolazi do smanjenja trenja te se korištenjem adekvatnih ulja za podmazivanje i primjenom odgovarajućih načina podmazivanja povećavaju učinkovitost stroja i stupanj djelovanja, dok se troškovi održavanja smanjuju [1, 4].

## **2.2. PODMAZIVANJE**

Kao što je prethodno rečeno, primjena maziva u postupku podmazivanja obavlja više značajnih funkcija. Bez pravilnog podmazivanja, većina bi strojnih elemenata i sustava radila u neodgovarajućim uvjetima zbog čega bi učinci na strojne dijelove bili iznimno štetni [1]. U slučaju da zahtjevi za podmazivanje motora nisu zadovoljeni, postoji mogućnost od posljedica kao što su: povećana potrošnja ulja, češće/neplanirane zamjene ulja, povećanje onečišćenja i trošenja dijelova motora [3].

Prikaz stanja podmazivanja spregnutih površina u relativnom gibanju [1]:

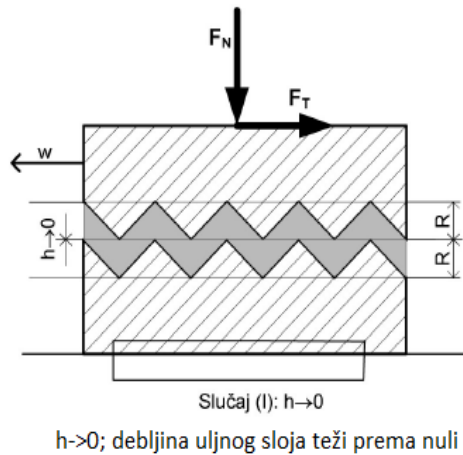
- podmazivanje graničnim slojem (Boundary Lubrication – BL)
- podmazivanje miješanim uljnim slojem (Mixed Film Lubrication) i elastohidrodinamičko podmazivanje (Elastohydrodynamic Lubrication – EHDL)
- hidrodinamičko podmazivanje (Hydrodynamic Lubrication – HDL).

Elementi strojeva koji tijekom rada zahtijevaju podmazivanje su klizni i kotrljajući ležajevi, zupčanici, klizne staze, vodilice, lanci, pomične spojke te svi elementi kod kojih dolazi do relativnog gibanja.

### **2.2.1. Podmazivanje graničnim slojem**

Predstavlja podmazivanje nastalo pri trenju dviju visoko opterećenih površina ili kod niskih brzina kada nije moguće stvaranje potpunog tekućeg uljnog filma. Javlja se pri velikim opterećenjima i zahtijeva uporabu AW (engl. *Anti-wear*) aditiva koji služe za smanjenje trošenja metala te EP (engl. *Extreme Pressure*) aditiva koji se primjenjuju za zaštitu od ekstremno visokih tlakova i udarnih opterećenja. Pri graničnom podmazivanju, površine elemenata strojeva su u neposrednom kontaktu i opterećenje se prenosi s jedne površine na drugu preko spregnutih neravnina. Granično podmazivanje mora osigurati odgovarajući površinski, odnosno granični sloj maziva kako bi ono popunilo neravnine dviju spregnutih površina. To bi površinama olakšalo gibanje jedne preko druge te bi također utjecalo na smanjenje trenja i trošenja. Neravnine su u početku, u normalnim uvjetima, prekrivene slojem oksida, kao što je npr. željezov oksid na željezu i čeliku, aluminijev oksid na aluminiju. Kad takve površine stružu jedna o drugu, posjeduju relativno slabu sklonost prijanjanju. Međutim, ukoliko zbog jakog struganja dođe do uklanjanja oksidnog sloja, tada izložene metalne površine imaju iznimno jaku sklonost prijanjanju. Prema tome, ako površine ležaja zadrže oksidne slojeve, kontakt između neravnina izazvat će blago trenje i trošenje. U slučaju gubitka oksidnih slojeva, doći će do jakog trenja i trošenja [9].

Podmazivanje graničnim slojem uglavnom se odvija početkom gibanja ili zaustavljanja dviju spregnutih površina. Kao primjer takva podmazivanja, može se spomenuti mjesto pri gornjoj i donjoj mrtvoj točki za vrijeme gibanja klipa s klipnim prstenovima unutar cilindra motora. Slično je i podmazivanje ležajeva pri pokretanju koljenaste osovine. Granično podmazivanje karakteriziraju male brzine klizanja, velika opterećenja te male viskoznosti maziva [1].

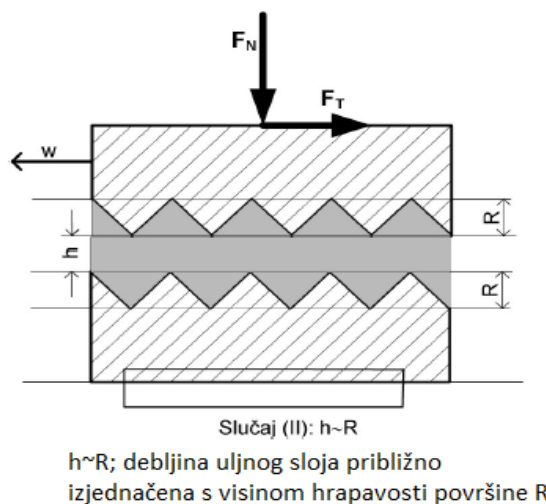


**Slika 1. Podmazivanje graničnim slojem**

Izvor: E. Tireli, J. Dvornik, J. Orović: Maziva i njihova primjena na brodu

### 2.2.2. Miješano podmazivanje

Miješano podmazivanje predstavlja prijelazni oblik između graničnog i potpunog podmazivanja. Nastaje ako se već započeto podmazivanje graničnim slojem nastavi povećanom brzinom klizanja, manjim opterećenjem ili povećanom viskoznošću. To je posljednja faza prije potpunog odmicanja spregnutih površina koje su u relativnom gibanju [1].



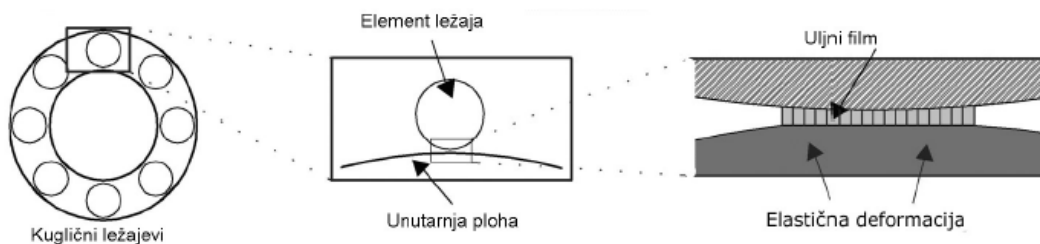
**Slika 2. Podmazivanje miješanim uljnim slojem**

Izvor: E. Tireli, J. Dvornik, J. Orović: Maziva i njihova primjena na brodu

### 2.2.3. Elastohidrodinamičko podmazivanje

Elastohidrodinamičko podmazivanje predstavlja oblik podmazivanja pri kojemu su klizne i kotrljajuće dodirne površine odvojene potpunim uljnim filmom. Karakteristično je

za kotrljajuće ležajeve i velika opterećenja, pri čemu su spregnute površine podložne deformacijama. [1]



**Slika 3. Elastohidrodinamičko podmazivanje**

Izvor: E. Tireli, J. Dvornik, J. Orović: Maziva i njihova primjena na brodu

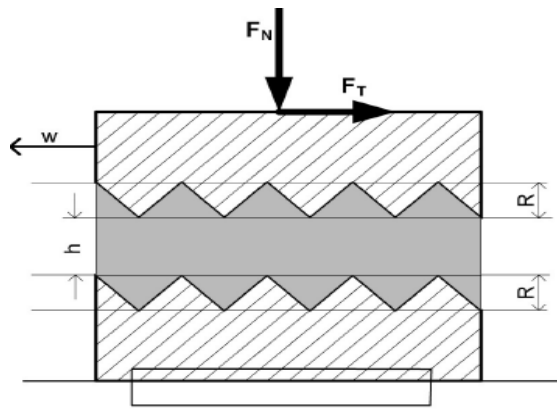
#### 2.2.4. Hidrodinamičko podmazivanje

Hidrodinamičko podmazivanje smatra se najpoželjnijim podmazivanjem kod kojega su spregnute površine u gibanju, razdvojene kontinuiranim uljnim slojem, stvarajući uljni klin. U slučaju hidrodinamičkog podmazivanja, podizna sila mora biti dovoljno velika da se osigura razdvajanje dviju površina kako ne bi bile u izravnom kontaktu.

Elementi mehaničkih sustava kod kojih se primjenjuje hidrodinamičko podmazivanje odlikuje se sljedećim tribološkim karakteristikama:

- površine koje se podmazuju razdvojene su dovoljno debelim uljnim slojem maziva kako ne bi došlo do njihova dodira, osim prilikom pokretanja i zaustavljanja
- opterećenje se prenosi s jedne na drugu površinu putem mazivog sloja koji posjeduje sposobnost nošenja, nastalu kao rezultat relativnog gibanja površina
- otpor uslijed sile trenja u sustavu određen je veličinom unutarnjeg trenja u mazivu [4].

Četiri su karakteristična elementa hidrodinamičkog podmazivanja. Prvi element je tekućina (hidro), zatim slijedi relativno gibanje (dinamičko), a preostala dva su viskozna svojstva maziva te geometrija površina između kojih nastaje uljni klin. Razmatrajući hidrodinamičko podmazivanje potrebno je postupati vrlo oprezno što se tiče odabira maziva, ovisno o njegovim svojstvima i viskozitetu.



Slučaj (III):  $h \gg R$

$h \gg R$ ; debljina uljnog sloja značajno veća od visine hrapavosti površine  $R$

#### Slika 4. Hidrodinamičko podmazivanje

Izvor: E. Tireli, J. Dvornik, J. Orović: Maziva i njihova primjena na brodu

### **3. PODJELA MOTORNIH ULJA**

Motorna ulja složene su otopine baznih ulja uz dodatak aditiva, a služe za podmazivanje svih pokretnih dijelova motora, posebno motora s unutarnjim izgaranjem. Kada je riječ o modernim motorima, ulja koja se u njima koriste moraju imati radno područje u velikom rasponu temperatura. S obzirom na veliki izbor sirovina koje se upotrebljavaju za proizvodnju mazivih ulja, raznovrsne procese rafinacije, te primjenu raznih aditiva, moguća je neograničena proizvodnja motornih ulja za različite primjene.

#### **3.1. BAZNA ULJA**

Bazna se ulja mogu podijeliti u četiri osnovne grupe:

- mineralna bazna ulja
- sintetička bazna ulja
- hidrokrekirana ulja
- biljna bazna ulja.

Bazna ulja predstavljaju osnovu svakog motornog ulja te određuju njegovu kvalitetu. Sama kvaliteta baznih ulja ovisi o podrijetlu, odnosno geografskom položaju nalazišta sirove nafte. S obzirom na kvalitetu sirove nafte koja sadrži najmanje štetnih primjesa, bitno je napomenuti neka najznačajnija nalazišta nafte poznata u Venezueli, Indoneziji, Iraku, Iranu i Arapskom poluotoku. Uz to, bazna ulja odgovarajućih svojstava i kvalitete moguće je dobiti iz mnogobrojnih naftnih nalazišta diljem svijeta, uz primjenu moderne tehnologije prerade nafte. U procesu rafiniranja sirove nafte, bazna ulja dobivaju se iz teško isparljivih frakcija sirove nafte kao ostatka atmosferske destilacije. Prerodom sirove nafte dobivaju se bazna ulja koja čine osnovu motornih i industrijskih maziva. Bazno ulje čini osnovu u daljnjoj proizvodnji mazivih ulja i masti. Kako bi se dobilo kvalitetno mazivo, baznim se uljima dodaju odgovarajući dodatci (aditivi), budući da samo bazno ulje ne zadovoljava zahtjeve proizvođača motora [2].

Prema Američkom naftnom institutu (API), bazna se ulja kategoriziraju u pet grupa. Prve tri grupe određene su kao bazna ulja dobivena iz mineralnih ulja. Bazna ulja grupe I sadrže manje od 90% zasićenih ugljikovodika i/ili više od 0,03 % sumpora, čiji je indeks viskoznosti veći ili jednak 80, i manji od 120. Grupa II predstavlja bazna mineralna ulja koja sadrže više od, ili jednako, 90 % zasićenih ugljikovodika i manje od, ili jednako, 0,03% sumpora. Indeks viskoznosti im je veći od, ili jednak, 80 i manji od 120. Grupa III odnosi se na rafinirana mineralna ulja koja sadrže više od, ili jednako, 90 % zasićenih ugljikovodika i manje od, ili jednako, 0,03 % sumpora, čiji je indeks viskoznosti veći od ili jednak 120.



Bazna ulja grupe I proizvedena su tehnologijom deparafinacije ili rafiniranjem otapalima, dok su bazna ulja grupe II i III dobivena tehnologijom hidroprocesiranja. Grupa IV su polialfaolefini (PAO), a u grupu V spadaju sve ostale bazne tekućina. Tehničko udruženje koje predstavlja industriju maziva u Europi - ATIEL, dodali su VI. grupu u koju spadaju Poliinternalolefini (PIO) [13].

**Tablica 1. API klasifikacija baznih ulja**

Grupa	Sastav	Zasićeni ugljikovodici % m/m	Sumpor % m/m	Indeks viskoznosti
I	Konvencionalna bazna ulja	< 90	> 0,03	80 – 120
II	Nekonvencionalna bazna ulja	≥ 90	≤ 0,03	80 – 120
III	Nekonvencionalna bazna ulja s visokim VI	≥ 90	≤ 0,03	≥ 120
IV	Sintetička bazna ulja	Polialfaolefini (PAO)		
V	Ostala bazna ulja	Bazna ulja koja nisu uključena u I, II, III, IV ili VI grupu		
VI	Sintetička bazna ulja	Poliinternalolefini		

Izvor: E. Cerić: Nafta, procesi i proizvodi

Bazna ulja posjeduju niz različitih svojstava, a neka od najznačajnijih su:

- viskoznost
- indeks viskoznosti
- stinište
- isparljivost
- oksidacijska stabilnost

### 3.2. MINERALNA MOTORNA ULJA

Baznom mineralnom ulju, kao produktu destilacije nafte, dodaju se određeni aditivi koji služe poboljšanju njegovih fizikalnih i kemijskih svojstava, kako bi se dobila mineralna motorna ulja. Mineralna motorna ulja zbog svoje povoljne cijene proizvodnje i dostupnosti, spadaju u najzastupljenija maziva na tržištu. Molekularna struktura ugljikovodika prisutnih u nafti iz koje se dobiva mineralno bazno ulje, određuje njegova značajna fizikalno-kemijska svojstva kao što su [4]:

- viskoznost i viskozno-temperaturna svojstva,
- agregatno stanje i područje tečenja,
- oksidacijska i termička stabilnost.

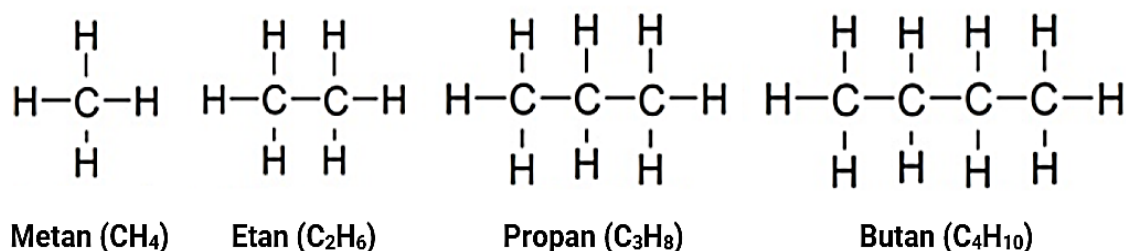
Kemijski spojevi koji čine mineralna ulja, uglavnom su ugljikovodici. S obzirom na dominantnu zastupljenost pojedinih ugljikovodika u nafti, mineralna motorna ulja mogu se podijeliti na naftenske, parafinske i mješovite. Nekoć su se za proizvodnju brodskih maziva koristila naftenska bazna ulja, međutim suvremena maziva za podmazivanje brodskih motora proizvode se od visokokvalitetnih parafinskih baznih ulja. Parafinska bazna ulja

posjeduju bolju otpornost na oksidaciju, imaju viši indeks viskoznosti, manju hlapljivost ali njihovom uporabom dolazi do stvaranja tvrdih naslaga ugljika. Moderna tehnologija aditiva dovodi do modifikacije tvrdih naslaga, a to omogućuje uporabu parafinskih baznih ulja, iskorištavajući njihova pozitivna svojstva [13].

### 3.2.1. Parafinski (Alkanski)

Kod nafte parafinske baze prevladavaju parafinski zasićeni ugljikovodici u kojima su atomi ugljika povezani samo jednostrukim vezama. Postoje ravno lančani (n-parafini) i razgranati (izo-parafini) parafinski ugljikovodici.

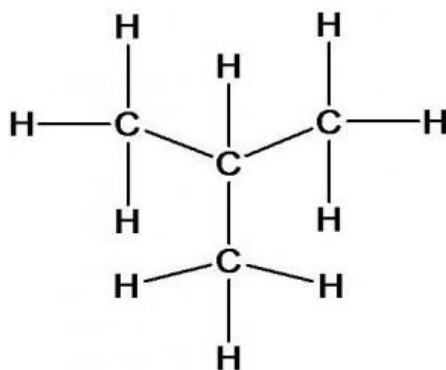
$C_nH_{2n+2}$ ; predstavlja opću formulu homolognog niza, gdje: **n** označava broj ugljikovih atoma, a na slici 5 prikazane su strukturne formule nekih od parafinskih ravno lančanih ugljikovodika [4].



**Slika 5. Strukturne formule ravno lančanih ugljikovodika**

Izvor: <https://www.energie-lexikon.info/kohlenwasserstoffe.html>

Kao primjer razgranatih parafinskih ugljikovodika (izo-parafina) može se navesti izobutan, čija je strukturna formula prikazana na slici 6.

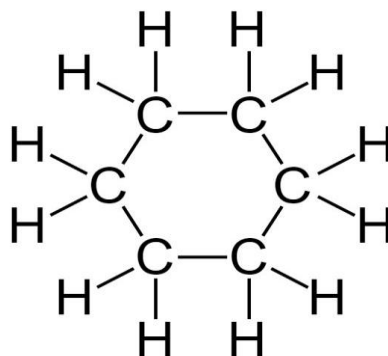


**Slika 6. Izobutan C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>**

Izvor: <https://www.wikiwand.com/sh/Izobutan>

### 3.2.2. Naftenski (Cikloalkanski)

Kod nafte naftenske baze prevladavaju nafteni koji spadaju u cikličke zasićene ugljikovodike, čiji atomi ugljika čine prstenaste molekule. Opća formula je  $C_nH_{2n}$ , gdje  $n$  predstavlja broj atoma ugljika. Kao primjer cikličkog ugljikovodika, može se navesti cikloheksan [4].



Slika 7. Cikloheksan  $C_6H_{12}$

Izvor: <http://www.chem.ucla.edu/~harding/IGOC/C/cyclohexane.html>

### 3.3. SINTETIČKA MOTORNA ULJA

Uporaba sintetičkih maziva započela je početkom 1930. godine u Njemačkoj i SAD-u. Sintetička motorna ulja su maziva koja se dobivaju od umjetno proizvedenih baznih ulja kojima se, uz dodatak odgovarajućih aditiva, poboljšavaju fizikalne i kemijske karakteristike. Proizvodnja sintetičkih ulja skup je i zahtjevan proces te su zbog toga cijene ulja vrlo visoke. Sintetička ulja primjenjuju se isključivo u sustavima gdje postoje problemi s podmazivanjem koje nije moguće tehnički riješiti primjenom klasičnih maziva, i gdje je to propisano normom [4]. Svojstva baznog sintetičkog ulja moguće je unaprijed odrediti sastavom sirovina i uvjetima sinteze [2]. U sintetička maziva spadaju:

- ugljikovodična,
- esterska sintetska (neopoliolna i fosfatna esterska),
- poliglikolna,
- silikonska.

U proizvodnji motornih ulja najviše su zastupljena ugljikovodična i esterska sintetička maziva. Najznačajnije karakteristike sintetičkih motornih ulja su visok indeks viskoznosti ( $VI = 150$  i više), izvanredna smična stabilnost, mali otpor trenja, te su jedini

koji posjeduju polarna svojstva, odnosno naboj molekula sintetičkih estera omogućuju im da se prilipe za metalnu površinu, čime ju štite od utjecaja okoline, a kod pokretanja stroja dijelovi bivaju podmazani. Bitna karakteristika im je otpornost prema starenju, a neki od njih su biorazgradivi.

## 4. TEHNOLOGIJA ZA PROIZVODNJU BAZNIH ULJA

Za proizvodnju baznih ulja koriste se sljedeće tehnologije:

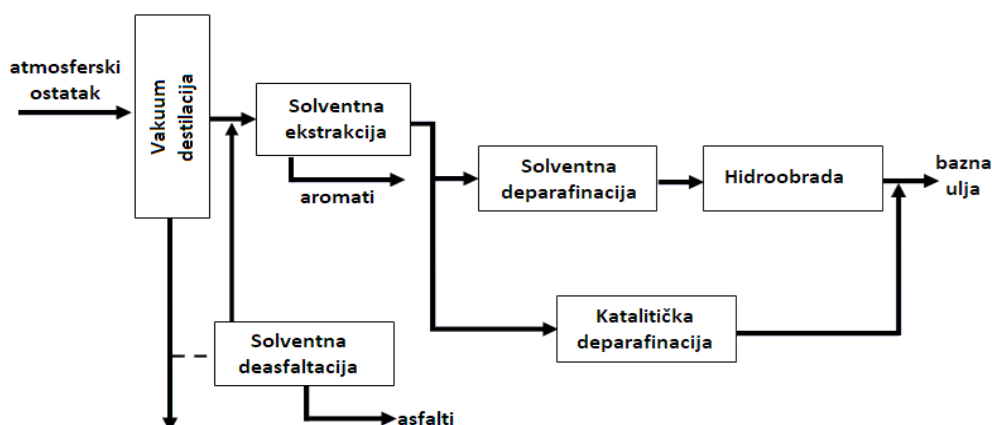
- klasična (solventna)
- hidrokreking
- hibridna.

Budući da je proizvodnja baznih ulja vrlo složen proces, postoji nekoliko važnih čimbenika koji na njega utječu, npr. vrsta sirove nafte iz koje je proizveden atmosferski ostatak, vrsta procesa za proizvodnju baznih ulja, tražena kvaliteta baznih ulja i sl. U slučaju zahtijevanja standardne kvalitete baznih ulja s indeksom viskoznosti od 95 do 105 i točkom stinjanja  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , traženi uvjeti bit će zadovoljeni uz pravilan odabir sirove nafte i primjenom klasične tehnologije. Ako se zahtijeva indeks viskoznosti iznad 105 i točka stinjanja  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tada je potrebna primjena hidrokreking ili hibridne tehnologije [2]. Tijekom proizvodnje baznih ulja klasičnom tehnologijom važan je uvjet primjena sirove nafte određene vrste i kvalitete, za razliku od hibridne ili hidrokreking tehnologije kod kojih je to zanemarivo.

### 4.1. KLASIČNA (SOLVENTNA) TEHNOLOGIJA

Primjenom klasične tehnologije dobivanja baznih ulja, koriste se sljedeći procesi [2]:

- vakuumaska destilacija
- deasfaltacija
- solventna ekstrakcija
- deparafinacija
- hidroobrada.



Slika 8. Shema procesa klasične (solventne) ekstrakcije

Izvor: E. Cerić: Nafta, procesi i proizvodi

#### **4.1.1. Vakuumska destilacija**

Vakuumska destilacija predstavlja jedan od važnijih procesa u proizvodnji baznih ulja, budući da se njime postižu najvažnija svojstva baznih ulja kao što su viskoznost, isparljivost i boja. Kada frakcije (destilati) nisu dobro razdvojene nakon vakuumske destilacije, njihova korekcija u daljnjim postupcima vrlo je teška i skupa [2].

#### **4.1.2. Deasfaltacija**

Ostatak vakumske destilacije jest crn i vrlo viskozan materijal koji sadrži velike količine asfaltena i smolastih komponenti. Deasfaltacija jest postupak ekstrakcije ostataka vakumske destilacije nafte ukapljenim propanom ili pentanom u kojima se dio baznog ulja otapa, a odvajaju se netopljivi asfalteni i druge smolaste tvari. Ekstrakt, nakon postupaka dearomatizacije i deparafinacije jest bazno ulje svijetle boje i velike viskoznosti [2].

#### **4.1.3. Solventna ekstrakcija**

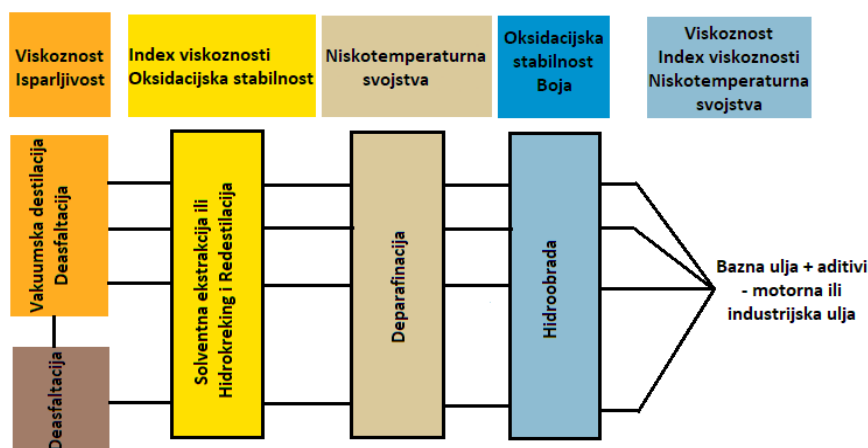
Solventna ekstrakcija predstavlja postupak odvajanja aromatskih spojeva iz destilata i deasfaltata, budući da imaju negativan utjecaj na indeks viskoznosti i oksidacijsku stabilnost baznog ulja. Uklanjanje aromatskih spojeva postiže se otapalima, najčešće se koristi furfural i n-metilpirolidon. Nakon navedenog postupka, destilat i deasfaltat nazivaju se rafinati, a ulje se naziva ekstrakt [2].

#### **4.1.4. Deparafinacija**

Iz baznog ulja potrebno je izdvojiti krute parafinske spojeve kako bi ono imalo tražena niskotemperaturna svojstva (stinište). Kruti parafinski spojevi uklanjaju se otapalima kao što su metilizobutylketon, metil-etil-keton/toulen itd. To se postiže na niskim temperaturama kada se neki parafinski spojevi kristaliziraju te se filtracijom uklanjaju iz rafinata. Filtrati nakon deparafinacije imaju točku stanjivanja od -12 do -18 °C. Česta je primjena postupka katalitičke deparafinacije kojim se dugolančani parafinski spojevi kreiraju u lagane proizvode (ukapljeni naftni plin i benzin) čime filtrati postižu traženo stinište [2].

#### **4.1.5. Hidrobrada**

Postupkom hidrobrade poboljšava se oksidacijska stabilnost i boja baznih ulja jer se njime uklanjaju čestice koksa i teže komponente. Hidrobradom filtrata uklanjaju se preostali spojevi sumpora, kisika i dušika. Postupak se provodi uz pomoću katalizatora i vodika pod tlakom od 45 bara i temperaturi od 320 °C. Važno je spomenuti da hidrobrada nije potrebna za dobivanje baznih ulja s katalitičkom deparafinacijom.



**Slika 9. Utjecaj pojedinih procesa na svojstva baznih ulja**

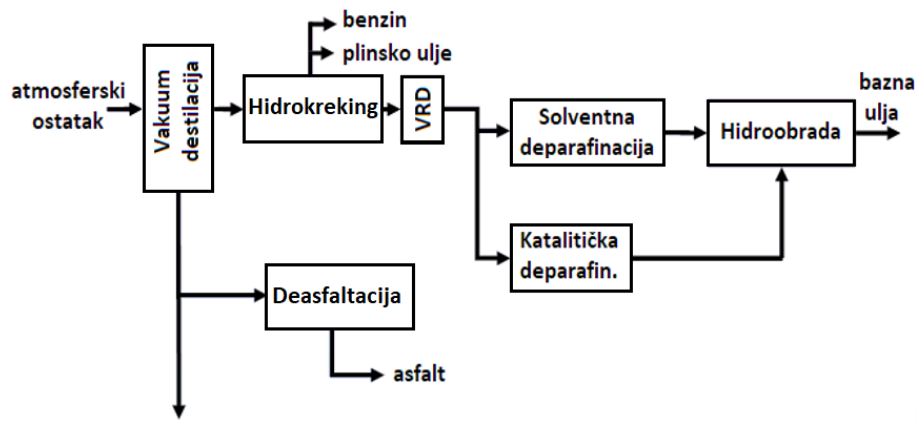
Izvor: E. Cerić: Nafta, procesi i proizvodi

## 4.2. HIDROKREKING TEHNOLOGIJA

Hidrokreking tehnologija za proizvodnju baznih ulja izvodi se pod tlakom od 160 do 200 bara i pri temperaturi od 360 do 400 °C, tijekom čega dolazi do pretvaranja aromatskih spojeva u naftene i parafine, stoga je tijekom hidrokreking procesa izostavljena primjena solventne ekstrakcije. Nakon hidrokrekinga potrebna je redestilacija kojom se uklanjaju lake komponente, kako bi se dobili pojedini uljni destilati. Solventno deparafinirani filtrati dobiveni hidrokreking tehnologijom zahtijevaju hidrobradu radi poboljšanja oksidacijske stabilnosti, budući da su osjetljivi na ultraljubičasto svjetlo te bi nakon nekoliko dana potamnili.

Postupci kod hidrokreking obrade:

- vakuumska destilacija
- deasfaltacija
- hidrokreking
- redestilacija
- deparafinacija
- hidrobrada



**Slika 10. Shema proizvodnje baznih ulja hidrokreking tehnologijom**

Izvor: E. Cerić: Nafta, procesi i proizvodi

Očitovanje kvalitete baznih ulja nakon hidrokreking obrade su svjetlija boja, bolja termička i oksidacijska stabilnost, nizak sadržaj sumpora, viši indeks viskoznosti. Kod primjene hidrokreking tehnologije, bazna ulja ne ovise o vrsti korištene sirove nafte.

#### **4.3. HIBRIDNA TEHNOLOGIJA**

Hibridna tehnologija u procesu proizvodnje baznih ulja kombinacija je klasične i hidrokreking tehnologije, a sastoji se od sljedećih postupaka:

- vakuumska destilacija
- deasfaltacija
- solventna ekstrakcija
- hidrokreking
- redestilacija
- deparafinacija
- hidroobrada.



## 5. ADITIVI ZA BAZNA ULJA

Aditivi su materije koje se u kombinaciji – paketu, ovisno o vrsti maziva, dodaju baznom ulju radi poboljšanja kvalitete ili stvaranja njegovog novog svojstva. Prirodni ugljikovodici sadržani u mineralnom ulju ne zadovoljavaju sve strože zahtjeve maziva, stoga se dodatkom sintetskih supstanci – aditiva, poboljšavaju pojedina fizikalna i kemijska svojstva baznog ulja kao što su: viskozno temperaturne karakteristike, stinište, antikorozivna svojstva, sklonost nastanku emulzije te poboljšana svojstva otpornosti na opterećenja. Bazno ulje bez dodataka (aditiva) ne ispunjava zahtjeve konstruktora motora koji se odnose na radne karakteristike. Sadržaj aditiva u ulju kreće se od 1 do 25 %, ovisno o radnim svojstvima i kvaliteti ulja. Vrste aditiva su [1, 13]:

**Poboljšivači indeksa viskoznosti ulja** osiguravaju stabilan indeks viskoznosti mazivih ulja s promjenom temperature.

**Poboljšivači temperature tečenja** snižavaju temperaturu pri kojoj se maziva ulja nalaze u fluidnom stanju.

**Antipjenušavci** sprječavaju pjenjenje baznog ulja.

**Detergenti** (aditivi za poboljšanje ispiranja) održavaju površine čistima i sprječavaju taloženje nečistoća na vitalnim površinama motora i strojeva. Također posjeduju sposobnost neutralizacije kiselih produkata izgaranja koji nastaju izgaranjem goriva s povećanim udjelom sumpora (BN = pokazuje alkalnu rezervu, tj. sposobnost neutralizacije kiselosti).

**Disperzanti** (aditivi za poboljšanje disperzije) sredstva za raspršivanje, bez pepela, kao što su detergentski, dodaju se baznim uljima radi poboljšanja čistoće motora. Raspršuju nečistoće te sprječavaju njihovo taloženje.

**Aditivi protiv trošenja (AW aditivi)** Smanjuju trenje i štite metalne površine od trošenja. Uslijed ekstremnih tlakova povećavaju trošenje mazivog sloja te sprečavaju čvrstoću mazivog sloja. Sadržavaju cink i najdjelotvorniji su pri temperaturama višim od 150 °C.

**Aditivi za ekstremno visoke tlakove (EP aditivi)** – primjenjuju se za zaštitu od visokih lokalnih tlakova i udarnih opterećenja u uvjetima graničnog podmazivanja.

**Inhibitori korozije** (aditivi za zaštitu od korozije) ulja za podmazivanje brodskih motora ponekad mogu biti kontaminirana vodom koja se uklanja pomoću separatora. Inhibitori korozije dodaju se baznim uljima radi stvaranja zaštitnog sloja te neutralizacijom kiselina štite metalne dijelove stroja izložene koroziji. Kako bi se osigurala dodatna zaštita protiv hrđanja, baznim uljima dodaju se inhibitori kao što su alkil sulfonati, fosfonati, spojevi

s dušikom (amini) i alkil sukcininske kiseline/esteri. Oni stvaraju hidrofobni zaštitni sloj na metalnim površinama, a prilikom njihova odabira, u obzir se uzimaju svi prisutni aditivi.

**Antioksidantni aditivi** (aditivi za zaštitu od oksidacije) služe za povećanje stabilnosti ulja pri djelovanju kisika. Inhibitori oksidacije, kao što su fenoli i amini te inhibitori, koji razaraju peroksid, npr. ditiofosfat i ditiokarbamat, pogodni su za primjenu u brodskim mazivima. Inhibitori oksidacije koji u svom sastavu sadrže sumpor imaju izuzetno korisna svojstva protiv trošenja. Također se mogu koristiti kao dodatak baznim uljima, rafiniranim iz sirove nafte, s niskim sadržajem sumpora te u sintetičkim baznim sirovinama.

**Aditivi za poboljšanje mazivih svojstava ulja u teškim uvjetima rada strojeva** (polarni uvjeti)

**Deaktivatori metala** (sprječavaju katalitički utjecaj metala na oksidaciju ulja) razlažu produkte oksidacije te sprječavaju njihova štetna djelovanja.

**Emulgatori** se koriste za smanjenje površinske napetosti mazivih ulja i stvaranje stabilne emulzije.

**Deemulgatori** su aditivi koji sprječavaju nastanak emulzije zbog prodora vode, kako bi se omogućilo da ulje obavlja svoju funkciju.

## 6. MAZIVA ULJA

Mazivo ulje je tekućina/tvar koja se upotrebljava radi smanjenja trenja i trošenja pokretnih dijelova mehanizama i strojeva, a pogodno je za zaštitu od korozije.

Fizikalna svojstva mazivih ulja su:

- viskoznost
- indeks viskoznosti
- gustoća
- temperatura stinjanja - stinište
- temperatura paljenja - plamište
- hlapljivost/isparljivost
- boja
- toplinska vodljivost.

Osnovna kemijska svojstva su:

- oksidacijska stabilnost
- termička stabilnost
- korozijska stabilnost
- vodootpornost
- neutralizacijski broj
- sadržaj pepela, koksa, vode
- saponifikacijski broj.

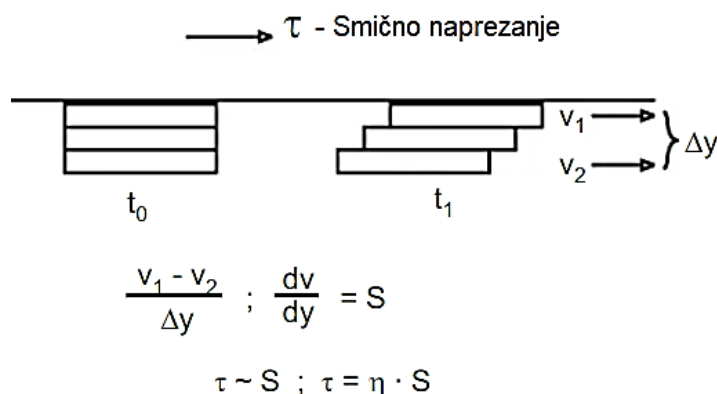
Eksploatacijska svojstva mazivih ulja su:

- ukupni lužnati broj (TBN)
- ukupni kiselinski broj (TAN)
- otpornost mazivog filma
- otpornost na habanje.

### 6.1. VISKOZNOST

Viskoznost je svojstvo fluida (tekućina/plinova), a predstavlja otpornost medija prema tečenju. Ujedno je i najvažnije svojstvo svih mazivih ulja. Viskoznost uz određivanje unutarnjeg trenja također određuje sposobnost podnošenja opterećenja i debljinu uljnog filma [3]. Viskoznost se dijeli na dinamičku (apsolutna), kinematsku i relativnu viskoznost. Veličina unutarnjeg trenja, u idealnim uvjetima, ovisi o tlaku  $p$  i temperaturi  $T$ . U tom je slučaju uspostavljena brzina smicanja ( $S$ ) proporcionalna smičnom naprežanju ( $\tau$ ) te se

dinamička (apsolutna) viskoznost ( $\eta$ ) – koja predstavlja mjeru otpornosti medija(plina/tekućine) prema gibanju/tečenju, može odrediti kao omjer smičnog naprezanja ( $\tau$ ) i gradijenta brzine smicanja (S). Jedinica dinamičke viskoznosti je pascal sekunda (Pa·s) [4]. Za mjerenje dinamičke viskoznosti, obično se koristi rotacijski viskozimetar. Rotor se vrti u posudi s tekućinom mjereći otpor rotaciji (moment) [13].



**Slika 11. Objašnjenje viskoznosti**

Izvor: Mang, T., Dressel, W.: Lubricants and Lubrication, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2007.

Svi fluidi koji se ponašaju prema Newtonovom zakonu nazivaju se Newtonske tekućine. Karakterizira ih visok indeks viskoznosti koji ne ovisi o brzini smicanja. Primjeri takvih tekućina su motorna ulja, hidraulične tekućine i masti [3]. S druge strane, fluidi čija se viskoznost mijenja s promjenom brzine smicanja, nazivaju se ne-Newtonske tekućine. Ako tijekom uporabe svježeg ulja dođe do njegovog iznimnog onečišćenja, ono se može ponašati kao ne-Newtonska tekućina. Viskoznost ulja koja se upotrebljavaju za podmazivanje ležajeva motora u pogonu, može biti niža od viskoznosti utvrđene ispitivanjem u laboratoriju pod uvjetima niskog smicanja. Kod motora s relativno malom minimalnom debljinom uljnog filma za podmazivanje ležajeva, ne preporučuje se dodatno smanjenje viskoznosti korištenog ulja, nadolijevanjem svježeg ulja nižeg viskoziteta. Kinematska viskoznost ( $\nu$ ) je omjer dinamičke viskoznosti i gustoće. Određuje se mjerenjem brzine protoka tekućine kroz kapilarnu cijev pod stalnim utjecajem gravitacijske sile. Jedinica kinematičke viskoznosti je  $\text{m}^2/\text{s}$ , ali obično se koristi centistokes (cSt), gdje 1 cSt iznosi  $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Za određivanje kinematičke viskoznosti, koristi se stakleni kapilarni viskozimetar [13]. Što je manja promjena viskoznosti s promjenom temperature, to je ulje kvalitetnije. Ulja manje viskoznosti lakše teku kroz za to predviđene dijelove motora, od onih veće viskoznosti. U slučaju kad je viskoznost ulja smanjena, tada se ulje neće dovoljno

dugo zadržati na površinama koje je potrebno podmazivati. Primjenom ulja previsoke viskoznosti, prilikom pokretanju hladnog motora, ono ne može pravovremeno doći do svih mjesta koje je potrebno podmazati. Vrlo je važno odabrati ulje odgovarajuće viskoznosti s obzirom na radnu temperaturu. Uporaba ulja preniske viskoznosti može dovesti do kontakta (dodira) metala o metal i trošenja, budući da je uljni film vrlo tanak. S druge strane, korištenje ulja previsoke viskoznosti može dovesti do gubitka snage zbog unutarnjeg trenja ulja [1]. Postoji niz razloga zbog kojih dolazi do promjene viskoznosti sistemskog ulja. Svaku promjenu viskoznosti potrebno je razmotriti u odnosu na parametre kao što su kiselinski broje (AN) oksidacije ulja, netopljive tvari, sadržaj vode i dr. Međutim, kada podatci nakon ispitivanja ne otkriju nikakva odstupanja, promjena viskoznosti može ukazivati na prisutnost ulja za podmazivanje s višom ili nižom viskoznošću. Uz smanjenje temperature maziva, postoji niz razloga koji dovode do povećanja viskoznosti kao što su: niska nadopuna ulja, oksidacija, onečišćenje visoko viskoznom ostatnim gorivom, onečišćenje visoko-viskoznom mazivima, onečišćenje vodom [3]. Smanjenje viskoznosti maziva može predstavljati veći rizik za motor nego povećanje viskoznosti. Neki uzroci smanjenja viskoznosti su povećanje temperature ulja iz raznih razloga, razrjeđivanje lakim gorivom, mazivima male viskoznosti ili tekućinama za čišćenje.

## 7. KLASIFIKACIJA MAZIVIH ULJA

### 7.1. KLASIFIKACIJA ULJA PREMA VISKOZNOSTI

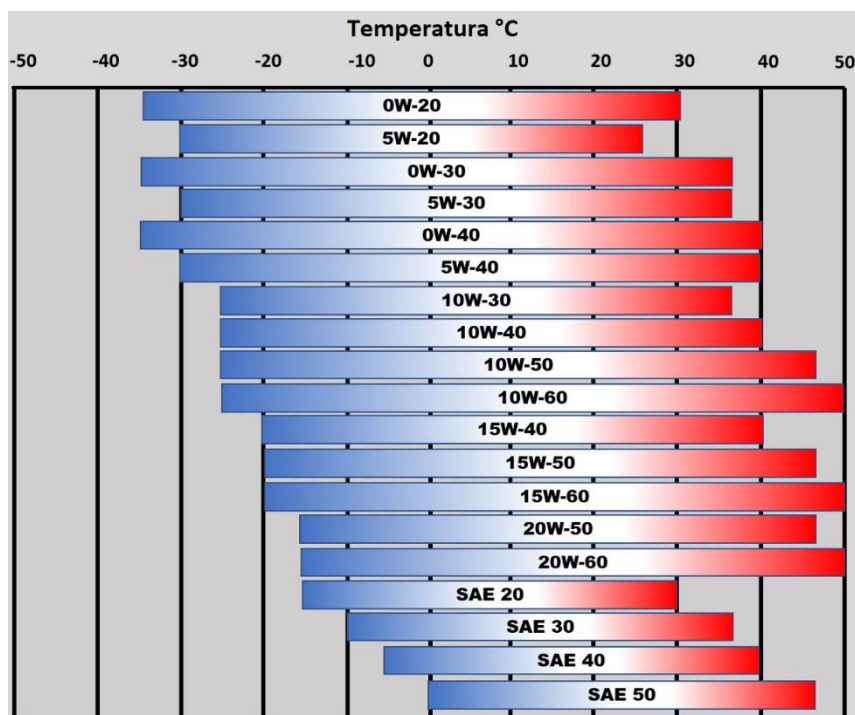
Klasifikacija motornih ulja prema viskoznosti temelji se na SAE (Engl. *Society of American Automotive Engineers*) normi, koje je uvelo udruženje automobilskih inženjera iz SAD-a. Viskoznost motornih ulja podijeljena je u dvije kategorije [1]:

1. Gradaciju označenu slovom W definira:

- najveća dinamička viskoznost pri niskoj temperaturi
- najveća dinamička viskoznost crpljenja ulja
- najmanja kinematska viskoznost u cSt ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) pri temperaturi od 100 °C

2. Gradaciju neoznačenu slovom W definira:

- najmanja i najveća kinematska viskoznost u cSt ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) pri temperaturi od 100 °C
- najmanja dinamička viskoznost pri temperaturi od 150 °C i pri velikoj brzini smicanja ( $10^6 \text{ s}^{-1}$ ), tzv. HTHS viskoznost.



Slika 12. Grafikon prikazuje stupnjeve viskoznosti u odnosu na temperaturu

Izvor: <https://penriteoil.com.au/knowledge-centre/Viscosity/237/what-is-an-sae-viscosity/180>

Motorna ulja koja imaju samo jedan SAE stupanj viskoznosti, određen standardom SAE J300, namijenjena isključivo ljetnim i zimskim uvjetima, nazivaju se jednogradnim ili

monogradnim uljima. Ulja jedinstvene viskoznosti dijele se na „zimski“ ulja, označena slovom W (engl. *winter*), npr. 5W, 10W. Takva ulja osiguravaju lakše upućivanje motora pri niskim temperaturama, dok pri višim radnim temperaturama okoline ne zadovoljavaju u potpunosti, budući da porast temperature utječe na smanjenje viskoznosti što se očituje lošijim podmazivanjem. Osim zimskih ulja, postoje, tzv. „ljetna“ ulja (bez oznake W), npr. SAE 20, 30, 40 koja zadovoljavaju uvjete podmazivanja pri višim okolnim i radnim temperaturama. Zbog povećane viskoznosti, navedena ulja u slučaju pokretanja motora, pri nižim temperaturama, ne podmazuju zadovoljavajuće [1]. Motorna ulja koja zadovoljavaju zimske i ljetne uvjete nazivaju se višegradnim (multigradnim) uljima s oznakom, npr. SAE 5W-30. Navedeno motorno ulje (SAE 5W-30) pri niskim temperaturama ima karakteristike zimskog ulja SAE 5W, dok se pri povišenim (radnim) temperaturama ponaša kao jednogradno motorno ulje SAE 30. Viskoznost višegradnih ulja, zbog visokog indeksa viskoznosti (110-150), manje ovisi o promjeni temperature, u usporedbi s jednogradnim uljima. Kako bi se održala mala promjena viskoznosti s promjenom temperature, potrebno je dodavati aditive za poboljšanje indeksa viskoznosti. Za podmazivanje brodskih dvotaktnih dizelskih motora uglavnom se koriste jednogradna (monogradna) maziva ulja od SAE 20 do SAE 60. Cilindarska ulja uobičajeno imaju oznaku SAE 50, dok ostala ulja u primjeni zadovoljavaju od SAE 30 do SAE 40 [1].

**Tablica 2. SAE klasifikacija motornih ulja prema viskoznosti SAEJ300, 1999.**

SAE gradacije viskoznosti	Zahtjevi za viskoznošću pri niskim temperaturama		Zahtjevi za viskoznošću pri visokim temperaturama		
	Najveća dinamička viskoznost mPa s pri °C	Najveća dinamička viskoznost crpljenja ulja mPa s pri °C	Kinematička viskoznost $\nu$ pri 100°C, mm <sup>2</sup> /s		Najmanja dinamička viskoznost $\eta$ (mPa s 150°C) i brzina smicanja (10 <sup>6</sup> s <sup>-1</sup> )
			najmanja	najviša	
0 W	6200 pri -35	60000 pri -40	3,8	-	-
5 W	6600 pri -30	60000 pri -35	3,8	-	-
10 W	7000 pri -25	60000 pri -30	4,1	-	-
15 W	7000 pri -20	60000 pri -25	5,6	-	-
20 W	9500 pri -15	60000 pri -20	5,6	-	-
25 W	13000 pri -10	60000 pri -15	9,3	-	-
20	-	-	5,6	9,3	2,6
30	-	-	9,3	12,5	2,9
40 <sup>1</sup>	-	-	12,5	16,3	2,9
40 <sup>2</sup>	-	-	12,5	16,3	3,7
50	-	-	16,3	21,9	3,7
60	-	-	21,9	26,1	3,7

Izvor: E. Cerić: Nafta, procesi i proizvodi

## 8. MAZIVA ULJA U POMORSTVU

U pomorskoj terminologiji, maziva za podmazivanje dizel motora dijele se na [3]:

- cilindarska ulja
- sistemska ulja
- karterska ulja

Za pogon velikih trgovačkih brodova obično se koriste sporohodni dvotaktni dizel motori s križnom glavom te motori srednjih brzina, dok se brzohodni dizel motori uglavnom koriste kao pomoćni brodski motori ili za pogon manjih brodova (trajekti, katamarani i sl.). Cilindarsko i kartersko ulje predstavljaju dvije vrste ulja koje se upotrebljavaju za podmazivanje sporohodnih dvotaktnih dizel motora. Visokokvalitetna cilindarska mineralna ulja namijenjena su za jednokratnu uporabu, specijalno razvijena za podmazivanje klipova i cilindara sporohodnih dizelovih motora koji se koriste u broskoj propulziji. Visoka alkalna rezerva ulja omogućava uporabu teških ostatnih goriva s visokim sadržajem sumpora. Kartersko mineralno ulje predstavlja višenamjensko ulje namijenjeno podmazivanju sustava kartera sporohodnih dvotaktnih dizelskih brodskih motora koji troše teška ostatna goriva. Karterski sustav dvotaktnih dizel motora s križnom glavom odvojen je od sustava klip-cilindar i zahtijeva kartersko ulje viskozne gradacije SAE 30 i BN = 5 – 10 mg KOH/g. Također se može koristiti za podmazivanje reduktora, turbopuhala, kompresora, u hidrauličnim sustavima, ležajevima statvene cijevi, palubne i ostale opreme. Veliki brodski sporohodni motori uglavnom su konstruirani s cilindrima odvojenim od karterskog prostora motora. Takvi motori sadrže odvojeni sustav za podmazivanje cilindara od centralnog sustava za podmazivanje uljem iz kartera. Kod ovakvih konstrukcija procesi, koji se odvijaju u cilindarskom prostoru, ne utječu direktno na ulje u karteru motora [3].

Razinu ulja u slivnom tanku (engl. *Service Tank*) potrebno je nadopuniti iznad minimalno potrebne količine (cca. 33 %) kako bi se, u slučaju puknuća cijevi ili propuštanja, alarm što prije aktivirao te spriječilo eventualno curenje ulja.

Ulja za podmazivanje posjeduju niz važnih funkcija koje omogućavaju što efikasnije funkcioniranje pogona dizelskog motora. Neke od njih su:

- smanjenje trošenja bitnih komponenti poput ležajeva, klipova, klipnih prstenova, košuljice cilindra, pogona ventila
- smanjenje trenja graničnih i hidrodinamički podmazanih komponenti
- hlađenje klipa
- sprječavanje korozije zbog kiselina i vlage



- čišćenje klipova i sprječavanje nakupljanja mulja na unutarnjim površinama
- održavanje podmazivanja brtvi i kontroliranje bubrenja kako bi se spriječilo curenje zbog kvara brtve.

**Tablica 3. Zahtjevi maziva za dizel motore**

	Motori s križnom glavom		Klipni motor- srednjohodni	Klipni motor - brzohodni
	Cilindarsko ulje	Sistemska ulje		
Kontrola trošenja (prstenovi/košuljice)	*		*	*
Termička i oksidacijska stabilnost	*	*	*	*
Kontrola naslaga na klip, utorima prstena, ispod čela klipa	*	*	*	*
Sposobnost pranja/raspršivost	*	*	*	*
Zadržavanje lužnatosti		*	*	*
Odjeljivost vode		*	*	
Inhibicija hrđe	*	*	*	*
Sposobnost filtriranja		*	*	*
Svojstva podnošenja opterećenja Reduktora			*	
Svojstva podnošenja opterećenja ventilskog mehanizma			*	*
Hidraulička svojstva		*		

Izvor:

[https://www.cimac.com/cms/upload/Publication\\_Press/Recommendations/Recommendation\\_20.pdf](https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Recommendation_20.pdf)

### 8.1.1. Ulja za motore s križnom glavom

Motori s križnom glavom sagorijevaju ostatna goriva, a raspon okretaja kreće se od 60 do 120 o/min. Sastoje se od dva sustava podmazivanja, od kojih jedan služi za podmazivanje cilindra, a drugi za podmazivanje strojnih dijelova unutar kućišta motora. Učinkovitost propelera proporcionalna je brzini motora, a mala brzina omogućuje im izravno spajanje na osovinu propelera, što osigurava bolju mehaničku učinkovitost.

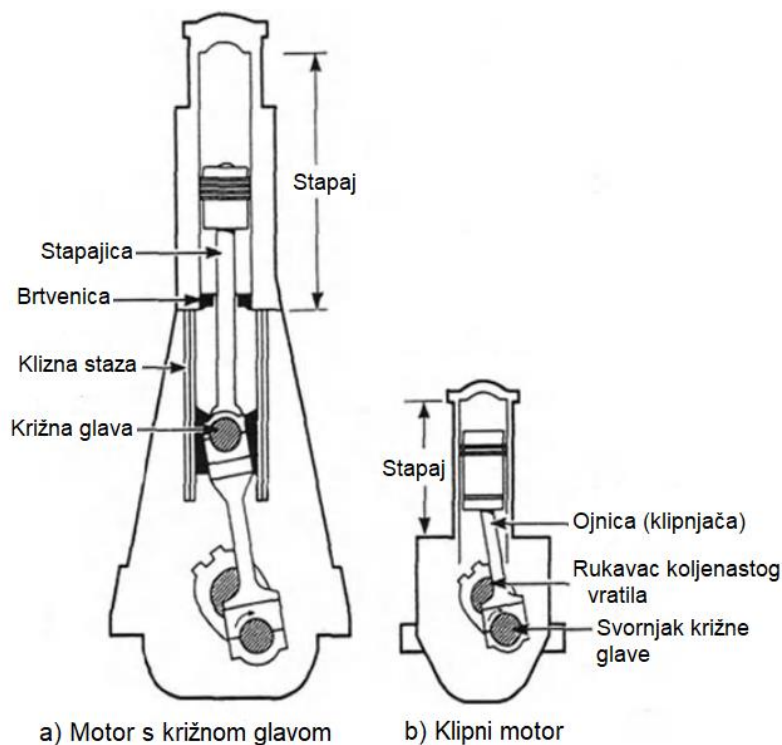
Jedno od najvažnijih svojstava cilindarskog ulja visoka je lužnatost koja pomože u sprječavanju djelovanja korozivne sumporne kiseline, nastale izgaranjem sumpora iz goriva. Dozvoljeni sadržaj sumpora u ostatnom gorivu iznosi otprilike 3,5 % [3]. Cilindarsko ulje dovodi se do stijenki cilindra kroz nekoliko mjesta za ubrizgavanje koja se nazivaju cilindarske mazalice (engl. *Quill*). Svaki cilindar sadrži između 4 i 16 mazalica, ovisno o stapaju i provrtu cilindra, raspoređenih po obodu u jednoj ili dvije razine, do kojih se ulje isporučuje pumpama pogonjenim motorom ili na hidraulički pogon. Sistemska ulje velikih sporohodnih i srednjohodnih dizelskih motora namijenjeno je za dugotrajnu uporabu. Karter motora s križnom glavom, brtvenicom stapajice, odvojen je od strane izgaranja. Sistemska

ulje, u pravilu, nije izloženo onečišćenju nusproduktima izgaranja ili cilindarskim uljem, no u stvarnosti može doći do propuštanja kroz brtvenicu klipnjače [13].

### 8.1.2. Ulje za srednjohodne klipne motore

Podmazivanje srednjohodnih klipnih dizelskih motora vrši se jednim sustavom podmazivanja, čiji se broj okretaja kreće između 300 i 1000 o/min. Srednjohodni motori uglavnom su namijenjeni kao pomoćni motori koji služe za opskrbu električnom energijom kada je brod u luci. Postoje izvedbe gdje su cilindri opremljeni cilindarskim mazalicama koje služe za dovod ulja. Kod srednjohodnih klipnih motora, ojnica klipnjače izravno je pričvršćena na svornjak klipa. Kao pogonski strojevi, navedeni motori su zbog svoje veće brzine preko reduktora spojeni na propelersko vratilo.

Neki srednjohodni klipni motori sagorijevaju destilatno gorivo. Njihovi su zahtjevi za podmazivanje slični onima za podmazivanje brzohodnih motora koji također rabe ovu vrstu goriva. Većina srednjohodnih klipnih motora sagorijeva ostatna goriva sa sadržajem sumpora do 3,5 % te zahtijevaju kartersko mazivo s odgovarajućom razinom lužnatosti, odnosno prikladnim baznim brojem kojim se postiže neutralizacija korozivne kiseline nastale izgaranjem [13].



**Slika 13. Usporedba motora s križnom glavom i klipnih motora**

Izvor: R. M. Mortier, M. F. Fox, S. T. Orszulik; Chemistry and Technology of Lubricants

### Tablica 4. Vrste motora i njihova namjena

<b>Sporohodni motori</b>	<b>Srednjohodni motori</b>	<b>Srednjohodni/brzohodni motori</b>	<b>Brzohodni motori</b>
Glavni motori za: Brodove za generalnin teret Kontejnerske brodove Brodove za rasuti teret Tankere	Glavni motori za: Putničke brodove Ro-Ro brodove Kontejnerske brodove Proizvodnju električne energije	Tegljači Koče Pomoćni pogon Proizvodnja energije za sve brodove	Mali brodovi Pumpe Pomoćni generatori Kompresori Mali trajekti

Izvor:

R. M. Mortier, M. F. Fox, S. T. Orszulik; Chemistry and Technology of Lubricants

### 8.1.3. Ulje za brzohodne klipne motore

**Tablica 5. Karakteristike maziva za dizelske motore**

	Klipni motor		Motor s križnom glavom
	ulje za brzohodne klipne motore	ulje za srednjohodne klipne motore	sistemske ulje
Najčešće korištena vrsta goriva	destilirano gorivo	ostatno gorivo	ostatno gorivo
Ključni sustav za obradu maziva	filtrar	centrifugalni čistilac i filtrar	centrifugalni čistilac i filtrar
Disperzivna svojstva maziva	odlična	umjerena	Umjerena
Odvajanje vode iz maziva	nezadovoljavajuće, mogu lako emulgirati	odlično	Odlično
Izmjena ulja	u redovnim intervalima	uglavnom ne	Ne

Izvor:

[https://www.cimac.com/cms/upload/Publication\\_Press/Recommendations/Recommendation\\_20.pdf](https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Recommendation_20.pdf)

## 8.2. IZBOR MOTORNOG ULJA OVISNO O UPOTRIJEBLJENOM GORIVU

Poteškoće kod velikih dizelskih motora, nastale primjenom teških goriva, otklonjene su uporabom specijalnih ulja za podmazivanje cilindara. Takva ulja sastoje se od posebnih dodataka koji ulje čine podobnim da u znatnoj mjeri, ili u potpunosti, suzbije štetne posljedice primjene teških goriva kod dizelskih motora. Motori koji koriste teško ostatno gorivo izloženi su koroziji kiselih spojeva pri izgaranju, budući da je dozvoljeni sadržaj sumpora u takvom gorivu 2 do 3,5 %.

Aditivi koji se dodaju uljima za podmazivanje cilindara su na bazi alkil-fenolata barija ili kalcija, koji u kombinaciji s kiselinama tvore sulfatne spojeve barija ili kalcija. Tim se postupkom znatno reduciraju sumporne kiseline, dok nastali sulfati ostaju raspršeni u ulju. Navedene spojeve moguće je otkloniti prikladnim pročišćivanjem. Eksploatacijska ispitivanja su pokazala da istrošenje košuljica cilindara uporabom teškog goriva ili

nelegiranog ulja (ne sadrži aditive), namijenjenog za podmazivanje cilindara, dostižu vrijednost do 0,5 mm nakon 1000 sati rada motora. Primjenom legiranih visokoalkalnih ulja i teškog goriva iste kvalitete, istrošenja se znatno snižavaju, dostižući vrijednost od 0,15 mm nakon 1000 sati rada.

### **8.3. RAZVOJ INA MAZIVA**

Crni teški mulj, koji se danas zove nafta, nije imao nikakvu tržišnu vrijednost, osim kao gorivo za rasvjetu (petrolej) i proizvodnju svijeća (parafin). Industrijalizacija nafte počinje pronalaskom motora s unutarnjim izgaranjem te njihovom primjenom kod brodova i cestovnih vozila. Nastanak poduzeća potaknuto je potrebama mađarskog dijela Austro-Ugarske Monarhije za naftnim derivatima. Godine 1882. u Budimpešti osniva se dioničko društvo Rafinerija mineralnog ulja, koje kupuje zemljište na području današnje Mlake (Ponsal). Rijeka je zbog svog geografskog položaja odabrana kao najprihvatljivija točka izlaska mađarskog gospodarstva na more. Godinu nakon (1883.) započinje gradnja Rafinerije, koja iste godine započinje s radom te je postala prvi europski pogon za preradu nafte. Rasvjetni petrolej bio je prvi proizvod riječke Rafinerije, nedugo nakon toga, započela je proizvodnja različitih vrsta benzina, parafina, mazivih ulja, bitumena, koksa, plinskog ulja i fosfata. Rafinerija je imala mogućnost pohrane 11 700 m<sup>2</sup> nafte. Godine 1884. izgrađena je naftna luka i pogon parafina, a 1887. pogon mazivih ulja. Do sredine 1890-ih godina, riječka je rafinerija, s preradbenim kapacitetom od 60 000 t godišnje, predstavljala najveći pogon za preradu nafte u Europi.

Rafinerija se 1964. udružuje s Rafinerijom nafte Sisak i Naftaplin-om u Kombinat za naftu i plin, koji iste godine nastavlja s djelovanjem pod nazivom INA – Industrija nafte. Njihovom integracijom stvoreno je najveće jugoslavensko naftno poduzeće. INA i američko poduzeće Dow Chemical, 1975. godine sklapaju ugovor o zajedničkom ulaganju u izgradnju petrokemijskih postrojenja na Krku (Omišalj) [14].

### **8.4. INA MAZIVA ZA BRODSKE MOTORE**

#### **8.4.1. INA Actinia B 50**

Actinia B 50 predstavlja motorno cilindarsko ulje namijenjeno podmazivanju cilindara sporohodnih dizelovih motora koji se uglavnom upotrebljavaju u brodskoj propulziji, a kao pogonsko gorivo troše ostatna goriva s visokim sadržajem sumpora. Ovo ulje, osim izrazite alkalnosti, posjeduje odlična svojstva protiv trošenja dijelova i stvaranja naslaga na

klipovima i kanalima dvotaktnih motora. Ulje Actinia B50 prihvaćeno je od strane svih najpoznatijih svjetskih proizvođača sporohodnih motora uključujući: Sulzer, MAN-B&W. Gledajući svojstva ulja Actinia B50, može se reći da je istovjetno s uljem Shell Alexia 50 [6].

Razina kvalitete specifikacije:

- SAE gradacija viskoznosti: 50
- Kinematska viskoznost pri 100°C [mm<sup>2</sup>/s]: 51,9
- TBN [mgKOH/g]

#### **8.4.2. INA Gorgonela S**

INA Gorgonela S predstavlja motorno ulje najprimjerenije za podmazivanje srednjehodnih i brzohodnih dizelskih motora te glavnih i pomoćnih motora, koji za pogon koriste destilatna dizelska goriva. Pogodna su i za podmazivanje zupčanih prijenosa, turbopuhala, sustava prekreta propelera, ležaja statvene cijevi, palubne i ostale opreme. Ulje pruža izvanrednu zaštitu od korozije te od vlažne i slane brodske atmosfere. Obradom u centrifugalnom separatoru, ovo ulje lako otpušta vodu, sprječava stvaranje taloga i naslaga čime se osigurava visok stupanj čistoće motora. Ulja Gorgonela S istovjetna su uljima Shell Gadinia te su prihvaćena od najpoznatijih svjetskih i domaćih proizvođača motora: Sulzer, MAN-B&W, Pielstick, MTU, Litostroj i sl. [6].

Razina kvalitete – specifikacije:

- SAE gradacija viskoznosti: 30, 40, 50,
- Kinematska viskoznost pri 100°C [mm<sup>2</sup>/s]: 11,7; 14,5; 18,5; 23,5
- TBN [mgKOH/g]: 12,5

#### **8.4.3. INA Rubella**

Ina Rubella predstavlja kombinirano kartersko i cilindarsko motorno ulje namijenjeno srednjohodnim dizelskim motorima koji rade s ostatnim dizelskim gorivom, a ugrađeni su u brodskoj ili industrijskoj primjeni. Ova ulja sadrže potrebne dodatke koji omogućavaju najvišu oksidacijsku i termičku stabilnost, detergentno/disperzantna svojstva te omogućavaju potpunu zaštitu od utjecaja korozije svih čeličnih dijelova i metala za ležaje u slučaju doticaja s morskom vodom. Osim primjene u motorima, ulje je pogodno za primjenu u reduktorima, palubnim strojevima i sl. Motorno ulje INA-Rubella istovjetno je uljima Shell

Argina-T te je prihvaćeno od strane najpoznatijih svjetskih proizvođača motora kao što su Sulzer, MAN-B&W, Pielstick, SWD i sl. [6].

Razina kvalitete – specifikacije:

- SAE gradacija viskoznosti: 30, 40
- Kinematska viskoznost pri 100°C [mm<sup>2</sup>/s]: 11,7; 14,5
- TBN [mgKOH/g]: 30,0

#### **8.4.4. INA Sagartia**

INA Sagartia je kvalitetno višenamjensko motorno ulje, prvenstveno namijenjeno podmazivanju sustava kartera sporohodnih dizelskih brodskih motora koji za pogon koriste teška ostatna goriva. Navedeno ulje ima mogućnost podmazivanja svih pomoćnih brodskih motora i kopnenih sustava. Svojom alkalnošću štiti dijelove kartera motora od eventualnih kiselina koje bi uz stapajicu dospjele u karter. Obradom u centrifuglanom separatoru, ovo ulje lako otpušta vodu, a dozvoljeno je i lagano pranje ulja vodom u separatoru kako bi se iz ulja, u slučaju prodora morske vode, odstranile zaostale soli. Visoka EP svojstva i sposobnost sprječavanja trošenja omogućuju uporabu u reductorima, hidraulici, kompresorima i sl. Ulja INA Sagartia istovjetna su s uljima Shell Melina te je također prihvaćeno od svih svjetskih proizvođača brodskih motora kao što su Sulzer, MAN-B&W [6].

Razina kvalitete – specifikacije:

- SAE gradacija viskoznosti: 30, 40
- Kinematska viskoznost pri 100°C [mm<sup>2</sup>/s]: 11,7; 14,5
- TBN [mgKOH/g]: 5,0

**Tablica 6. Marke i tipovi ulja za podmazivanje brodskih dizel motora**

<b>Marka ulja</b>	<b>Cilindarsko ulje</b>	<b>Sistemske ulje</b>
<b>EXXONMOBIL</b>	Mobilgard 5100	Mobilgard 300
	Mobilgard 570	Mobilgard M330
	Mobilgard 560S	Mobilgard M430
	Mobilgard L540	Mobilgard M340
		Mobilgard M440
<b>SHELL</b>	Alexia S6	Melina
	Alexia S5	Gadinia 30
	Alexia S4	Gadinia S3 30
	Alexia LS	Gadinia S3 40
	Alexia 25	Argina XL 40
	Alexia 40	Argina S2 40
	Alexia 70	Argina S3 30
		Argina S3 40
	Argina T 30	
<b>CASTROL</b>	Cyltech CL 100 ACC	Marine CDX 30
	Cyltech 70/80 AW	TLX Plus 303
	Cyltech 50 S	TLX Plus 304
	Cyltech 40 SX	TLX Plus 403
		TLX Plus 404
<b>CALTEX</b>	Taro special HT 100	Veritas 800 Marine 30
	Taro special HT 70	Taro 30 DP 30
	Taro special HT 55	Taro 30 DP 40
	Taro special HT LS 40	Taro 40 XL 40
<b>TOTAL LUBMARINE</b>	Talusia universal 100	Atlanta Marine D 3005
	Talusia HR 70	Aurelia TI 3030
	Talusia universal	Aurelia TI 4030
	Talusia LS 40	Aurelia TI 4040
<b>LUKOIL</b>	Navigo 100 MCL	Navigo 6 SO
	Navigo 70 MCL	Navigo Tpeo 30/30
	Navigo 50 MCL	Navigo Tpeo 30/40
	Navigo 40 MCL	
<b>AGIP</b>	Punica 570	Cladium 50
		Cladium S 300 SAE 30
		Cladium S 300 SAE 40
		Cladium S 400 SAE 30
		Cladium S 400 SAE 40

Izvor: Izradio autor prema <https://www.unimarine-lubricants.com//tools.html>

## 9. ANALIZA ULJA

Tijekom eksploatacije nije moguće u potpunosti spriječiti kontaminaciju i degradaciju mazivog ulja. Međutim, vrlo je važno spriječiti brzu kontaminaciju maziva prije i za vrijeme uporabe. Analiza rabljenog ulja predstavlja jedan od značajnijih postupaka koji se provode kako bi se dobila stvarna slika o stanju ulja, njegova sposobnost za daljnju uporabu te određene informacije o stanju strojeva koje podmazuju. Preduvjet za valjanu analizu ulja i ispravno tumačenje stanja ulja je način i mjesto uzimanja uzorka. U slučaju da uzorak ulja nije pravilno uzet, tada nije moguće sa sigurnošću utvrditi stvarno stanje ulja. Osim provođenja rutinskih analiza, postoji nekoliko naprednih (detaljnijih) metoda koje pružaju dodatne informacije [11].

Dvije su glavne svrhe provođenja analize ulja:

1. Procjena stanja ulja te na temelju provedenih analiza utvrditi treba li se ulje zamijeniti ili je prikladno za daljnju uporabu.

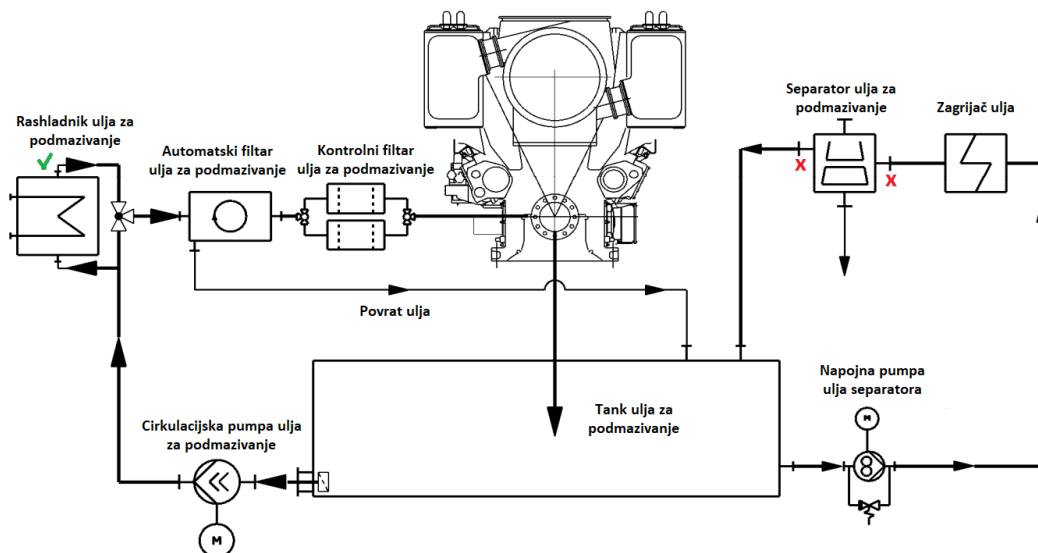
2. Na brodovima je vrlo bitno redovno kontrolirati stanje ispravnosti motora i ostalih sustava kako bi se spriječilo nastajanje problema koji bi utjecali na pouzdan rad motora te cjelokupni brodski sustav.

Tijekom rada brodskog sustava, sva maziva izložena su različitim opterećenjima što također podrazumijeva kontaminaciju maziva raznim česticama koje su zbog habanja, istrošenosti, utjecaja korozije i slično dospjele u maziva za podmazivanje. Dostupni rezultati u izvješćima trebaju se pažljivo ispitati kako bi se utvrdilo ispravno stanje ulja. Međutim, u modernom dizelskom motoru potrebno je značajno razumijevanje zagađivača koji mogu biti prisutni. Ulje za podmazivanje dizajnirano je tako da zadovolji određene zadatke tijekom određenog vremenskog razdoblja. Indikacije dostizanja ili prekoračenja graničnih vrijednosti ukazuju na moguć ili ozbiljan problem te se zahtjeva istraga od strane osoblja stroja. Popravke je potrebno izvršiti u što kraćem roku, kako bi se izbjegle moguće opasnosti. Granične vrijednosti određene su od strane proizvođača motora i/ili dobavljača ulja [11].

Za pravilno provođenje analize ulja važno je da:

- boce s uzorcima ulja budu čiste
- uzorak ulja mora biti reprezentativan
- sve potrebne informacije (npr. mjesto uzorkovanja, datum, naziv ulja i radni sati) pričvršćene na spremnik s uzorcima kako bi bile dostupne u laboratoriju
- uzorak što prije poslati u laboratorij.





**Slika 14. Mjesta uzimanja uzoraka ulja kod brodskih motora**

Izvor:

[https://www.cimac.com/cms/upload/Publication\\_Press/Recommendations/Recommendation\\_30.pdf](https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Recommendation_30.pdf)

Kako bi uzorak ulja bio reprezentativan za analizu te kako bi provedena analiza dala što točnije rezultate, u sustavu je potrebno odrediti odgovarajuće mjesto za uzorkovanje. To mjesto može odrediti i sam konstruktor/proizvođač motora/ulja. Nakon određivanja odgovarajućeg mjesta uzorkovanja, uzorak ulja uvijek se uzima s istog mjesta, uz primjenu iste metode. Uzorak se uzima dok je stroj u pogonu, minimalno 30 minuta nakon upućivanja motora, da bi se cirkulacijom ulja kroz sustav produkti izgaranja i istrošenja dobro izmiješali, čime se dobiva stvarna slika o stanju ulja. Za uzorak odvaja se 250 ml ulja, što predstavlja vrlo mali postotak ukupnog kapaciteta sustava. Neposredno prije uzorkovanja, potrebno je ispustiti malu količinu ulja (0,5-1,0 l) kako bi se odstranilo ulje od prethodnog uzorkovanja. Radi izbjegavanja nepotrebne kontaminacije, uzorak ulja puni se izravno u bocu za uzorkovanje, uz neophodno korištenje čiste i suhe opreme. Kod brodskih motora, uzorak ulja za analizu uzima se iz sustava ulja za podmazivanje na ulazu u motor. Uzorak je potrebno uzeti na mjestima s punim protokom kako bi se izbjeglo onečišćenje nataloženim muljem. Zato se najpogodnijim mjestima smatraju pumpa ulja za podmazivanje, pipac postavljen prije uljnog filtra te na izlazu ulja iz rashladnika ulja. Rutinskom analizom ulja nije moguće procijeniti učinkovitost rada separatora, stoga mjesta prije i nakon separatora nisu preporučena za uzimanje uzorka ulja. Osim navedenoga, odušnici tankova i cijevi namijenjene za mjerenje razine ulja u tanku nisu preporučeni za uzorkovanje [11].

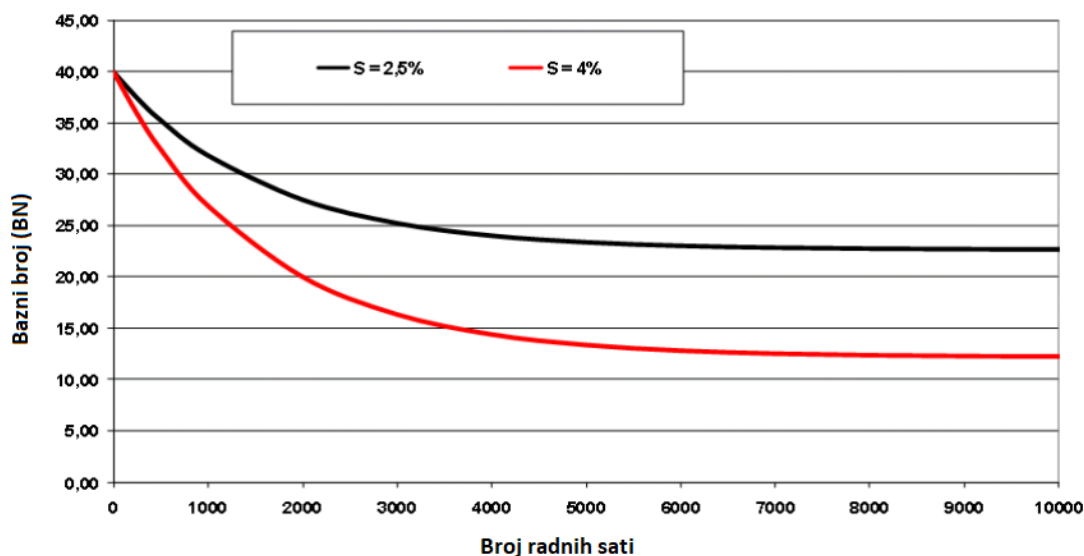
## 9.1. KARAKTERISTIKE ULJA ZA PODMAZIVANJE

### 9.1.1. Indeks viskoznost (VI)

Indeks viskoznosti empirijski je broj koji pokazuje brzinu promjene viskoznosti fluida, ovisno o temperaturi (maziva ulja se miješaju da bi se postigao odgovarajući indeks viskoznosti). Izračunavanje indeksa viskoznosti vrši se mjerenjem na 40 i 100 °C. Visok VI označava malu promjenu viskoznosti s temperaturom. Indeks viskoznosti određen je svojstvima baznog ulja i upotrijebljenim aditivima. Njegova se važnost odnosi na višegradna ulja za čiju primjenu je potreban ograničen raspon viskoznosti, u odnosu na širok temperaturni raspon, kako bi se zadovoljile specifikacije [11].

### 9.1.2. Bazni broj (BN)

Bazni broj pokazuje količinu lužnatosti u uljima za podmazivanje, a iskazuje se u mgKHO/g. Lužnatost ulja za podmazivanje određuje se količinom klorovodične kiseline potrebne za neutralizaciju jednog grama ulja. Izražava se kao ekvivalent jednog miligrama kalijevog hidroksida. Ova analiza važna je isključivo za motorna ulja. U slučaju prevelikog pada lužnatosti ulja za podmazivanje, postoji rizik od korozivne istrošenosti košuljica cilindara, klipnih prstenova i ležajeva, budući da ulje nema dovoljnu sposobnost neutralizacije sumporne kiseline nastale izgaranjem goriva. Zamjenu ulja potrebno je izvršiti u slučaju pada BN-a za 50 % od početne vrijednosti [11].



Slika 15. Dijagram degradacije BN-a

Izvor:

[https://www.cimac.com/cms/upload/Publication\\_Press/Recommendations/Recommendation\\_30.pdf](https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Recommendation_30.pdf)

Dijagram prikazuje stupanj opadanja baznog broja (BN) s porastom broja radnih sati, ovisno o sadržaju sumpora u ulju. Dodatkom novog ulja, bazni broj nakratko naglo opada, a zatim se nastavlja sporije smanjivati sve dok ne postigne ravnotežnu vrijednost. Bazni broj ostat će uravnotežen sve dok je sadržaj sumpora u ulju stabilan [11].

**Tablica 7. Vrijednost BN mazivih ulja za brodske dizelske motore**

Vrijednost TBN mazivih ulja za brodske dizelske motore	
5	ulje sistema, sporohodni motori s križnom glavom, brzohodni dizelski motori i motori koji rade ne automobilsko dizelsko gorivo, gorivo sa sadržajem sumpora do 0,2%
10	brzohodni dizelski motori, destilatna goriva sa sadržajem sumpora do 0,5%, gorivo plinsko ulje (MGO odnosno DMX)
15	brzohodni i srednjohodni motori, gorivo DBM (DMC max)
20	srednjohodni motori bez križne glave i pomoćni motori. Sadržaj sumpora do 2% (DMC max)
30	Srednjohodni motori bez križne glave pogonjeni svim vrstama goriva
45-55	Srednjohodni motori bez križne glave, posebno motori s manjim kapacitetom slivnog tanka ili malom potrošnjom ulja, za sva goriva
> 60 - 100	Cilindarska ulja, sporohodni motori s križnom glavom

Izvor:

[https://www.cimac.com/cms/upload/Publication\\_Press/Recommendations/Recommendation\\_30.pdf](https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Recommendation_30.pdf)

### 9.1.3. Kiselinski broj (AN)

Kiselinski broj predstavlja sadržaj kiselih komponenti u mazivom ulju, a određuje količinu lužine potrebne za neutralizaciju svih kiselih sastojaka prisutnih u 1 gramu uzorka. Povećanje AN-a može ukazivati na oksidaciju ili kontaminaciju nekim kiselim proizvodima. Kod degradacije rabljenog ulja oksidacijom, nastaju kiseli nusprodukti koji uzrokuju koroziju. Otpornost na oksidaciju iznimno je važna za dizelske motore. Rad na biogorivo također može utjecati na povećanje kiselinskog broja. Postupno povećanje AN-a uobičajeno je, za razliku od naglog povećanja, koje upućuje na onečišćenje [11].

### 9.1.4. Sadržaj vode

Pojava vode u ulju štetna je za sve sustave podmazivanja. U svakom broskom sustavu postoje brojni izvori putem kojih voda (slatka/morska) može dospjeti u ulje za podmazivanje. Čak i mala količina vode može štetno djelovati na motor, no nažalost, njezina pojava u rabljenom ulju obično je neizbježna. Ondje može dospjeti, primjerice,

propuštanjem iz rashladnika ulja i parnih grijača, propuštanjem rashladnika zraka, kondenzacijom atmosferske vlage, propuštanjem plinova izgaranja između klipnih prstenova i stijenki cilindara, propuštanjem na odušnicima tankova. Voda utječe na viskoznost i mazivost ulja za podmazivanje te njezinom prisutnošću može doći do stvaranja emulzije. Stoga se centrifugiranjem u separatoru sadržaj vode drži na minimalnim vrijednostima. U slučaju da sadržaj vode u ulju prijeđe 0,2%, potrebno je provjeriti ispravnost rada separatora te ga po potrebi prilagoditi, kako bi se osiguralo učinkovito odvajanje vode. Stvaranje emulzije u mazivom ulju onemogućuje uklanjanje vode, isključivo pomoću separatora. Prisutnost emulzije u ulju za podmazivanje smanjit će sposobnost podmazivanja te potencijalno može uzrokovati kvarove. Aditivi sadržani u ulju za podmazivanje osjetljivi su na prisutnost vode. U slučaju onečišćenja ulja vodom, može doći do prorjeđivanja aditiva, a što se očituje padom BN-a. Aditivi, u kombinaciji s vodom, stvaraju netopljivi talog koji se odvaja pomoću separatora. Morska voda zbog korozivnog djelovanja predstavlja moguću opasnost za motor. Postoji niz čimbenika o kojima ovisi hoće li doći do pojave korozije u motoru, primjerice, koliki je sadržaj soli, vode i jakih kiselina u ulju te posjeduje li ulje dovoljnu sposobnost zaštite od korozije [11].

#### **9.1.5. Plamište (točka/temperatura paljenja)**

Plamište predstavlja temperaturu pri kojoj, iskrom ili plamenom, može doći do zapaljenja uljnih para. Najniža je temperatura na kojoj se uljne pare mogu zapaliti. Ovom analizom otkriva se prisutnost goriva u ulju. Pad plamišta obično je pokazatelj kontaminacije maziva destilatnim gorivom (dizel/plinsko ulje), iako kod ostatnog goriva ne mora biti vidljiva značajna promjena. U slučaju pada plamišta za 30 °C ili više, potrebno je provjeriti postoji li mogućnost curenja goriva u sustavu ulja za podmazivanje. Uzrok pojave goriva u ulju može biti posljedica propuštanja u sustavu za dovod goriva. Ispitivanje plamišta vrši se raznim metodama, a neke od njih su – metoda otvorene i zatvorene posude [11].

#### **9.1.6. Netopljive tvari**

Kako bi se osiguralo zadovoljavajuće podmazivanje motora te njegova dugoročna pouzdanost, važno je kontrolirati razinu netopljivih tvari u ulju. Sadržaj netopljivih tvari kompozitni je parametar koji odražava stupanj razgradnje(propadanja) i onečišćenja ulja. Do pojava visoke razine netopljivih tvari može doći zbog kontaminacije ulja (npr. gorivom), te degradacijom aditiva sadržanih u ulju. Iako čestice spadaju u netopljive tvari, najvažniji su

kontaminanti i produkti razgradnje koji su otopljeni ili raspršeni u mazivom ulju. Analizom ulja u pentanu i toluenu, određuje se sadržaj netopljivih tvari te stupanj oksidacije ulja [11].

### 9.1.7. Sadržaj metala u ulju

Spektrokemijskom analizom ulja analiziraju se čestice elemenata strojeva koje su manje od 5 mikrometara. Odvojene čestice metala potrebno je utvrditi, a mjere se u ppm (milijunti dio masenog udjela).

**Aditivni elementi:** kalcij (Ca), silicij (Si), magnezij (Mg), fosfor (P), cink (Zn)

Koncentracija ovih elemenata može poslužiti za utvrđivanje maziva u uporabi (koje se koristi) ili kao pokazatelj da je mazivo pomiješano, ili kontaminirano drugom vrstom/markom ulja.

**Elementi trošenja:** aluminij (Al), krom (Cr), bakar (Cu), željezo (Fe), molibden (Mo), olovo (Pb), antimon (Sb), kositar (Sn)

Pojava ovih elemenata ukazuje na istrošenost ležajeva, klipnih prstenova, košuljica cilindra i drugih dijelova motora. Izravan utjecaj na trošenje elemenata ima vrsta motora, odnosno tehnologija unutarnjih dijelova/komponenti te način rada motora (brzina, rad pod djelomičnim ili punim opterećenjem, broj dnevnih upućivanja/pokretanja). Molibden također može biti prisutan kao aditiv u ulju za podmazivanje i/ili rashladnoj vodi i zato nije moguće postaviti granične vrijednosti.

**Zagađivači ulja:** natrij (Na), nikal (Ni), vanadij (V), aluminij (Al), silicij (Si), klor (Cl), magnezij (Mg), bor (B), kalij (K)

Prisutnost K, B, Mg, Cl i Na ukazuju na kontaminaciju ulja vodom, kondenzatom, morskom vodom, rashladnom tekućinom itd. Si može biti prisutan zbog onečišćenja prašinom/pijeskom, međutim, također je sadržan u aditivima ulja za podmazivanje (aditivi protiv pjenjenja). Prisutnost vanadija i nikla ukazuje na kontaminaciju gorivom, u slučaju uporabe teškog goriva (HFO). Natrij i kalij mogu potjecati iz teškog goriva ili dizel goriva koja sadrže biodizel te mogu biti sadržani u aditivima koji se koriste u rashladnoj tekućini motora [11].

### **9.1.8. Oksidacija**

Oksidacija je proces u kojemu reakcijom kisika s molekulama ugljikovodika, dolazi do stvaranja netopljivih ugljikovodičnih ostataka i smole. Proces oksidacije uvelike ovisi o temperaturi, kontaminaciji i dostupnosti kisika. Na pogoršanje oksidacije utječe kontaminacija maziva sirovim gorivom, također, katalitičko djelovanje metala (željezo, bakar) koji se troše, a mogu imati utjecaj na ubrzanje procesa oksidacije. Najveću otpornost na oksidaciju posjeduju parafini, zatim slijede nafteni, aromati, aditivi, asfalteni, dok posljednje mjesto, s najmanjom otpornošću, zauzimaju nezasićene tvari [9, 11].

### **9.1.9. Sulfatizacija**

Sulfatizacija je obrnuto proporcionalna smanjenju baznog broja (BN) te se koristi za indicaciju stupnja degradacije ulja. Sulfatni nusprodukti obično nastaju oksidacijom sumpornih komponenti aditiva ili onečišćenjem gorivom te reakcijom ulja sa sumpornim dioksidom  $SO_2$  [11].

### **9.1.10. Čađa**

Povećanje čađe posljedica je lošeg izgaranja (neispravnog ubrizgavanja), nedostatka zraka (zbog začepljenja filtra zraka, neispravnog prednabijanja), preopterećenja, lošeg održavanja. Infracrvenom apsorpcijom mjeri se količina čađe u ulju na čiju vrijednost utječu izgaranje, degradacija i kvaliteta obrade ulja [11].

### **9.1.11. Asfalteni**

Asfalteni su aromatski ugljikovodici, visoke molekularne težine, sadržani u ostatnom gorivu. U slučaju doticaja asfaltena s mazivom može doći do zgrušavanja i stvaranja ljepljivih crnih naslaga, na svim metalnim površinama motora. To može dovesti do začepljenja stružnog prstena, te blokirati pumpu za ubrizgavanje goriva [11].

### **9.1.12. PQ indeks**

PQ indeks služi za određivanje relativne količine nebojenog metala u uzorku ulja kao funkciju količine feromagnetskog otpada unutar uzorka. Približavanjem uzorka ulja polju magnetskog toka unutar aparata/uređaja, dolazi do izobličenja magnetskog polja,

proporcionalno količini feromagnetskog otpada unutar uzorka. Izobličenje se izražava PQ indeksom i ne ovisi o veličini čestica.

Pogoršanjem stanja trošenja unutar određenog sustava, dolazi do povećanog stvaranja velikih čestica. Emisijskom spektroskopijom ili ispitivanjem atomske apsorpcije, uglavnom se prikupljaju podaci o česticama koje su obično manje od 5-7  $\mu\text{m}$ . Dobivenim rezultatima, bit će vidljivo njihovo izjednačavanje ili smanjenje u odnosu na rastuću vrijednost PQ indeksa.

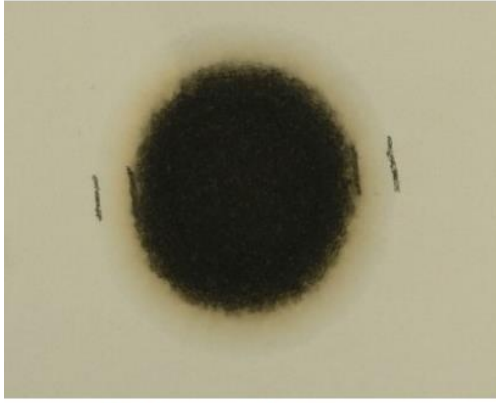
Osjetljivost PQ indeksa, najučinkovitija je u slučaju kada veličina čestica iznosi približno 20  $\mu\text{m}$ , što označava prisutnost pada osjetljivosti između 7 i 20  $\mu\text{m}$ . Krhotine od istrošenosti, uslijed agresivnih triboloških uvjeta, imaju tendenciju proizvodnje ostataka od trošenja u širokom rasponu veličina, čak i iznad kritičnih dimenzija zazora površina koje međusobno djeluju jedna na drugu [11].

### **9.1.13. Ispitivanje pomoću bugačice (Blotter test)**

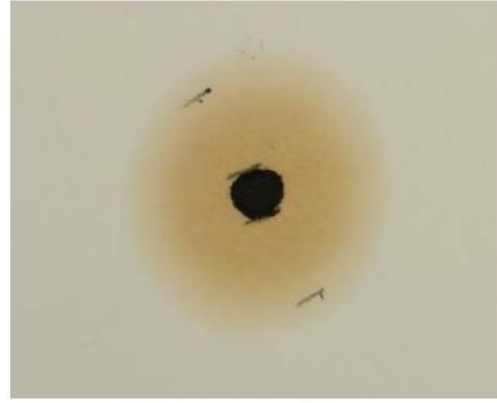
Predstavlja metodu ispitivanja stanja korištenog motornog ulja. Riječ je o subjektivnoj analizi za koju ne postoje određeni standardi. Dvije glavne značajke su količina prisutnih netopljivih tvari i stanje aditiva za raspršivanje. Kod novog ulja, mrlja je ujednačena te ne dolazi do stvaranja prstenova. Postupnim starenjem ulja mrlja će, zbog povećane koncentracije netopljivih čestica, postati tamnija. U ovom slučaju, prstenovi mogu izostati, zbog prisutnosti dovoljne količine aditiva za raspršivanje. Slabljenjem aditiva za raspršivanje, dolazi do stvaranja prstenova.

Prilikom provođenja ovog testa, sporo kretanje ulja po bugačici upozorit će na prisutnost oksidacije, ugljika i svojstva raspršivosti, u usporedbi sa sličnim kapljicama svježeg ulja [11].

Tijekom testiranja sadržaja netopivih tvari u ulju za podmazivanje potrebno je protresti uzorak ulja kako bi se sadržaj tvari dobro izmiješao. Zatim malu količinu ulja uliti u čašu (menzuru). Čisti filter papir potrebno je staviti na ravnu površinu, uroniti acetatin štapić u ulje, prvu kap vratiti u čašu, a zatim drugu kap staviti na papir i ostaviti 24 sata. Sadržaj netopljivih tvari moguće je odrediti ovisno o nijansi mrlje. Vrlo tamna mrlja ukazuje na veliku količinu netopljivih tvari u ulju. U slučaju loše (slabe) raspršivosti, potamnit će samo središte mrlje [12].



**Dobar uzorak ulja**



**Loš uzorak ulja**

**Slika 16. Primjer Blotter testa za dobar i loš uzorak ulja**

Izvor:

[https://www.cimac.com/cms/upload/Publication\\_Press/Recommendations/Recommendation\\_30.pdf](https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Recommendation_30.pdf)



## 9.2. PRILOZI

**Prilog 1.** Primjer izvješća o analizi mazivog ulja glavnog motora

		Sample details	1 (Current)	2	3
		Rating	Normal	Normal	Normal
		Sample No	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxx
		Bottle No	xxxxxxx	Not Stated	Not Stated
		Sampled Date	03-Mar-22	22-Nov-21	03-Jul-21
		Oil Grade in Use (vrsta ulja)	NAVIGO 6 CO	NAVIGO 6 CO	NAVIGO 6 CO
			68 HVI	68 HVI	68 HVI
		Unit Service Hrs	57175	55334	53102
		Oil Service Hrs	57175	55334	53102
		Daily Makeup[ltr]	Not Stated	20	20
New Oil	Alert Value	Analysis			
100		Appearance (izgled)	Clear	Dark	Clear
11.5	<9.3 or >16	KV@40°C[mm²/s]	108.9	103.6	108.6
6	<1.5 or >30	KV@100°C[ mm²/s]	11.63	11.17	11.46
		BN[ mgKOH/g] -bazni broj	7.3	8.3	6.1
	<170	Flash Point[°C] - plamište	>200	>200	>200
	>0.8	Soot/Insoluble[%wt]	0.30	0.10	0.10
	>0.3	Water[%wt] - voda	<0.05	<0.05	<0.05
		PQ Index/2ml	<10	<10	<10
<b>Wear elements - [ppm]</b>					
	>100	Aluminij (Al)	<1	1	<1
	>50	Krom (Cr)	2	<1	<1
	>100	Bakar (Cu)	4	6	6
	>200	Željezo (Fe)	10	15	16
	>100	Olovo (Pb)	<1	2	1
	>100	Kositar (Sn)	1	<1	<1
<b>Contamination elements - [ppm]</b>					
		Bor (B)	3	3	3
	>250	Natrij (Na)	7	9	7
	>100	Silicij (Si)	<1	6	<1
		Molibden (Mo)	1	<1	<1
		Nikal (Ni)	3	2	1
		Srebro (Ag)	<1	<1	<1

## Prilog 2. Primjer izvješća o analizi mazivog ulja glavnog motora

Status is Normal
Status is Caution
Status is Critical

	Test	Method	6/6/2020	4/20/2020	3/18/2020	2/13/2020	1/13/2020
<b>Contamination</b>	Voda	IBP Mod	Neg	Neg	Neg	Neg	Neg
	Karl Fischer	D6304					
	ISO Count 6/14	ISO 4406					
	Gorivo	IBP Mod	Neg	Neg	Neg	Neg	Neg
	Gorivo(%)	IBP Mod					
	Glikol	IBP Mod	Neg	Neg	Neg	Neg	Neg
	BS&W (osn. sed. i voda)	IBP Mod	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	Čađa	IBP Mod	0.35				0.12
	Silicij (Si)	D5185	13.30	16.20	14.40	15.90	15.50
	Kalij (K)	D5185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Natrij (Na)	D5185	2.30	1.50	1.90	1.50	1.90
<b>Condition</b>	Visc@40°C	D445					
	Visc@100°C	D445	12.30	11.90	12.00	11.80	11.90
	Visc. index	D2270					
	TAN	D664					
	TBN	D2896	15.22	15.39	15.35	15.34	15.19
	Flash point - plamište	D92					
	Bor (B)	D5185	3.50	2.60	2.10	1.90	1.20
	Barij (Ba)	D5185	0.00	0.20	0.30	0.60	1.10
	Kalcij (Cl)	D5185	5441.00	5592.00	5701.00	5481.00	5158.00
	Magnezij (Mg)	D5185	19.70	20.30	19.40	18.50	17.80
	Fosfor (P)	D5185	1003.00	1007.00	1014.00	981.10	965.00
Cink (Zn)	D5185	1107.00	1128.00	1134.00	1102.00	1081.00	
<b>Wear</b>	Željezo (Fe)	D5185	6.40	15.50	16.30	8.60	9.00
	Nikal (Ni)	D5185	0.10	0.00	0.10	0.10	0.00
	Krom (Cr)	D5185	0.30	0.60	0.80	0.70	1.00
	Kositar (Sn)	D5185	0.00	0.30	0.20	0.30	0.50
	Bakar (Cu)	D5185	0.30	0.60	1.80	0.50	1.20
	Olovo (Pb)	D5185	1.20	0.80	1.10	1.50	1.20
	Srebro (Ag)	D5185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
	Aluminij (Al)	D5185	1.90	2.20	2.50	2.20	2.20
	Molibden (Mo)	D5185	0.50	0.80	0.40	0.60	0.30

### Prilog 3. Primjer izvješća o analizi mazivog ulja glavnog motora

Status is Normal
Status is Caution
Status is Critical

		Method	6/6/2020	4/20/2020	3/18/2020	2/13/2020	1/13/2020
<b>Contamination</b>	Voda	IBP Mod	Neg	Neg	Neg	Neg	Neg
	Karl Fischer	D6304					
	ISO Count 6/14	ISO 4406					
	Gorivo	IBP Mod	Neg	Neg	Neg	Neg	Neg
	Gorivo(%)	IBP Mod					
	Glikol	IBP Mod	Neg	Neg	Neg	Neg	Neg
	BS&W (osn. sed. i voda)	IBP Mod	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	Čađa	IBP Mod	0.65				0.64
	Silicij (Si)	D5185	10.70	11.00	15.20	11.30	12.00
	Kalij (K)	D5185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Natrij (Na)	D5185	7.90	15.70	20.00	36.30	33.50	
<b>Condition</b>	Visc@40°C	D445					
	Visc@100°C	D445	12.40	12.10	12.00	12.30	12.30
	Visc. index	D2270					
	TAN	D664					
	TBN	D2896	15.45	15.59	15.58	15.45	15.20
	Flash point - plamište	D92					
	Bor (B)	D5185	4.20	7.70	6.10	8.60	6.80
	Barij (Ba)	D5185	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
	Kalcij (Ca)	D5185	5698.00	5630.00	5507.00	5792.00	5513.00
	Magnezij (Mg)	D5185	21.30	20.90	19.60	19.40	19.40
	Fosfor (P)	D5185	1043.00	1001.00	988.30	1022.00	1009.00
	Cink (Zn)	D5185	1151.00	1134.00	1113.00	1146.00	1141.00
<b>Wear</b>	Željezo (Fe)	D5185	9.80	8.00	5.90	10.20	9.20
	Nikal (Ni)	D5185	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
	Krom (Cr)	D5185	0.40	0.30	0.20	0.20	0.30
	Kositar (Sn)	D5185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
	Bakar (Cu)	D5185	0.40	0.30	2.90	0.30	4.00
	Olovo (Pb)	D5185	1.50	0.50	1.30	0.80	2.40
	Srebro (Ag)	D5185	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
	Aluminij (Al)	D5185	2.40	2.30	2.00	2.20	2.10
	Molibden (Mo)	D5185	0.30	0.50	0.40	0.40	0.00

**Prilog 4.** Primjer izvješća o analizi mazivog ulja glavnog motora

		<b>Sample details</b>	<b>1 (Current)</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
		Rating	Normal	Normal	Normal
		Sample No	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxx
		Bottle No	xxxxxxx	Not Stated	Not Stated
		Sampled Date	03-Mar-22	22-Nov-21	03-Jul-21
		Oil Grade in Use (vrsta ulja)	NAVIGO 6 CO	NAVIGO 6 CO	NAVIGO 6 CO
			68 HVI	68 HVI	68 HVI
		Unit Service Hrs	57175	55334	53102
		Oil Service Hrs	57175	55334	53102
		Daily Makeup[ltr]	Not Stated	20	20
<b>New Oil</b>	<b>Alert Value</b>	<b>Analysis</b>			
100		Appearance (izgled)	Clear	Dark	Clear
11.5	<9.3 or >16	KV@40°C[mm²/s]	108.9	103.6	108.6
6	<1.5 or >30	KV@100°C[ mm²/s]	11.63	11.17	11.46
	<170	BN[ mgKOH/g] -bazni broj	7.3	8.3	6.1
	>0.8	Flash Point[°C] - plamište	>200	>200	>200
	>0.3	Soot/Insoluble[%wt]	0.30	0.10	0.10
		Water[%wt] - voda	<0.05	<0.05	<0.05
		PQ Index/2ml	<10	<10	<10
		<b>Wear elements - [ppm]</b>			
	>100	Aluminij (Al)	<1	1	<1
	>50	Krom (Cr)	2	<1	<1
	>100	Bakar (Cu)	4	6	6
	>200	Željezo (Fe)	10	15	16
	>100	Olovo (Pb)	<1	2	1
	>100	Kositar (Sn)	1	<1	<1
		<b>Contamination elements - [ppm]</b>			
		Bor (B)	3	3	3
	>250	Natrij (Na)	7	9	7
	>100	Silicij (Si)	<1	6	<1
		Molibden (Mo)	1	<1	<1
		Nikal (Ni)	3	2	1
		Srebro (Ag)	<1	<1	<1

## Prilog 5. Primjer izvješća o analizi mazivog ulja glavnog motora



Equipment - Component  
Main Engine - Cylinders No 1

Site/Vessel Name - Code

Customer  
THENAMARIS LNG

Manufacturer - Model  
MAN B&W - G 50 ME-C Mark 9.6

LubeAnalyst Code  
XXXXXXXXXX

Registered Lubricant  
Shell - Alexia 100



### Diagnosis

Note Vanadium, this may indicate possible fuel contamination.  
Results indicate satisfactory equipment operation.

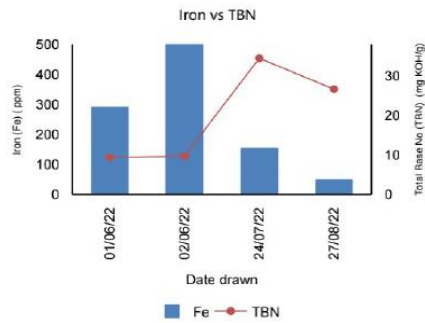
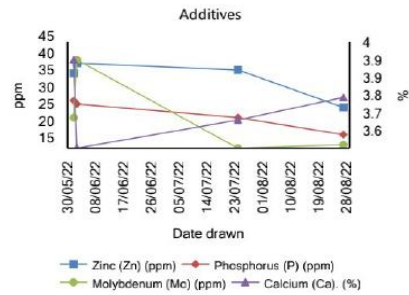
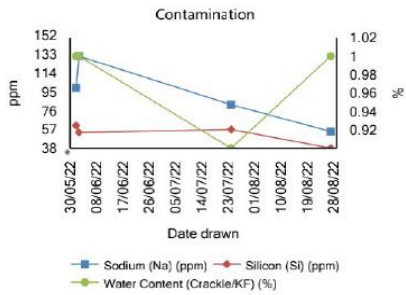
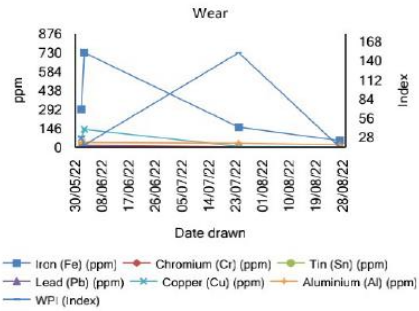
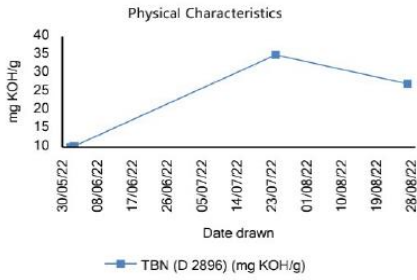
#### Sample Information

Sample Number	Caution Limit	Action Limit	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Sample Condition			✓	✓	✗	✗
Sample Date			27/Aug/2022	24/Jul/2022	02/Jun/2022	01/Jun/2022
Sample Received			07/Sep/2022	08/Aug/2022	21/Jun/2022	21/Jun/2022
Sample Completed			08/Sep/2022	09/Aug/2022	22/Jun/2022	22/Jun/2022
Lubricant in use			Alexia 100	Alexia 100	Alexia 100	Alexia 100
Equipment Life			3643 (Hours)	2949 (Hours)	1915 (Hours)	1892 (Hours)
Fuel in Use			-	M380	Heavy Fuel Oil (HFO)	Heavy Fuel Oil (HFO)
Fuel Sulfur (%)			3.28	2.76	3.47	3.47
Engine Load (kW)			3564	4422	4728	4850
T/C Cut-Out			No	No	No	No
Rel. Humidity (atm) (%)			60.30	56.70	47.40	47.50
Ambient Temp. (atm) (°C)			34	41	38	37
Feed Rate (g/kWh)			1.05	1.05	0.60	0.80
CLO Cons./ 24 hrs (Litrs)			140	-	110	140
Jacket C.W. Out Temp. (°C)			1205	118	115	114
Liner (Hrs)			3643	2949	195	1892
Piston Crown (Hrs)			3643.00	2949.00	1915.00	1892.00
Piston Ring (Hrs)			3643	2949	1915	1892
Fuel Valve Life (Hrs)			3643	2949	1915	1892
Physical Characteristics						
TBN (ID 2896) (mg KOH/g)			26.6	34.4	9.66	9.41
Wear						
Iron (Fe) (ppm)			51	155	732	293
Chromium (Cr) (ppm)			3	4	14	7
Tin (Sn) (ppm)			0	0	5	2
Lead (Pb) (ppm)			0	0	10	4
Copper (Cu) (ppm)			4	6	138	69
Aluminium (Al) (ppm)			19	31	37	34
Vanadium (V) (ppm)			401	560	420	347
WPI (Index)			14	152	17	29
Contamination						
Water Content (Crackle/KF) (%)			1.0	0.9	1.0	1.0
Sodium (Na) (ppm)			55	82	131	99
Silicon (Si) (ppm)			38	57	54	61
Additives						
Calcium (Ca) (%)			3.75	3.63	3.48	3.95
Zinc (Zn) (ppm)			24	35	37	34
Phosphorus (P) (ppm)			16	21	25	26
Molybdenum (Mo) (ppm)			13	12	38	21

# Prilog 6.



## Graphs



## 10. ZAKLJUČAK

Maziva imaju važnu ulogu u održavanju učinkovitosti i dugovječnosti brodskih dizelskih motora. Sustav podmazivanja jedan je od glavnih sustava brodskog postrojenja, bez kojeg bi rad brodskih pogonskih strojeva bio onemogućen. Proizvođači motora stalno postavljaju nove i strože zahtjeve u cilju poboljšanja učinkovitosti maziva koji moraju biti zadovoljeni od strane proizvođača maziva.

Korištenje ulja ispravne viskoznosti, prema preporukama proizvođača motora, najznačajniji je čimbenik ispravnog podmazivanja. Bitno je naglasiti da se dva ulja iste namjene i iste viskozne gradacije mogu uvelike razlikovati s obzirom na kvalitetu. Ulje odgovarajuće viskoznosti osigurat će optimalnu čvrstoću uljnog filma uz minimalne gubitke nastale trenjem i propuštanjem.

Sistemska ulja služi za podmazivanje različitih dijelova brodskog sustava. Pri čemu je od iznimne važnosti pronaći optimum viskoznosti i alkalne rezerve. Danas se, za podmazivanje brodskih dizelskih motora, najčešće upotrebljavaju jednogradna ulja viskozne gradacije SAE 30 i SAE 40, s alkalnom rezervom BN 5 – 10. Jednogradna ulja viskoznosti SAE 50 namijenjena su za podmazivanje cilindara sporohodnih dvotaktnih dizelskih motora, čija se potrošnja kreće od 1 do 1,5 g/kWh (kod novijih motora cca. 0,7 g/kWh).

Pravilnim provođenjem analize ulja, propisane od strane konstruktora/proizvođača motora/ulja, osigurava se stalni nadzor svih glavnih sustava stroja te je moguće otkrivanje problema u ranoj fazi. Kako bi se produljio radni vijek motora i ulja, od strojara i osoblja koje rukuje porivnim motorom, zahtjeva se dobro poznavanje sustava podmazivanja te kvalitetno provođenje analize ulja, koja se prema preporukama proizvođača provodi nakon 1000 do 2000 sati rada, u slučaju da je stanje ulja nezadovoljavajuće, potrebno je češće provođenje analize ulja.

## LITERATURA

E. Tireli, E. Dvornik, J. Orović, J.: Maziva i njihova primjena na brodu, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka 2010. [1]

E. Cerić; Nafta, procesi i proizvodi, Zagreb 2006. [2]

[https://www.cimac.com/cms/upload/Publication\\_Press/Recommendations/Recommendation\\_29.pdf](https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Recommendation_29.pdf) [3]

Savez jugoslavenskih društava za primjenu goriva i maziva, Maziva i podmazivanje, Jugoma, Zagreb, 1986. [4]

Đ. Šilić, V. Stojković, D. Mikulić; Goriva i maziva, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica 2012. [5]

<https://www.scribd.com/document/382219768/Ina-Maziva-Katalog-Proizvoda> str.18-19  
16.09.2022 [6]

<https://www.ffri.hr/~mdundjer/Elementi%20strojeva%20II/11TrenjeTrosenjeIPodmazivanje.pdf> [7]

<http://www.maziva.org/podmazivanje/teorije-podmazivanja/> [8]

A. R. Lansdown; Lubrication and Lubricant Selection - A Practical Guide, Professional Engineering Publishing Limited, London, 2004. [9]

T. Mang, W. Dressel; Lubricants and Lubrication, Weinheim, 2007. [10]

[https://www.cimac.com/cms/upload/Publication\\_Press/Recommendations/Recommendation\\_30.pdf](https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Recommendation_30.pdf) [11]

<https://marineinbox.com/marine-exams/lube-oil-analysis/> [12]

R. M. Mortier, M. F. Fox, S. T. Orszulik; Chemistry and Technology of Lubricants [13]

<https://tehnika.lzmk.hr/rafinerija-nafte-rijeka/> [14]



## POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> Podmazivanje graničnim slojem .....	5
<b>Slika 2.</b> Podmazivanje miješanim uljnim slojem.....	5
<b>Slika 3.</b> Elastohidrodinamičko podmazivanje .....	6
<b>Slika 4.</b> Hidrodinamičko podmazivanje .....	7
<b>Slika 5.</b> Strukturne formule ravno lančanih ugljikovodika.....	10
<b>Slika 6.</b> Izobutan $C_4H_{10}$ .....	10
<b>Slika 7.</b> Cikloheksan $C_6H_{12}$ .....	11
<b>Slika 8.</b> Shema procesa klasične (solventne) ekstrakcije.....	13
<b>Slika 9.</b> Utjecaj pojedinih procesa na svojstva baznih ulja.....	15
<b>Slika 10.</b> Shema proizvodnje baznih ulja hidrokreking tehnologijom .....	16
<b>Slika 11.</b> Objašnjenje viskoznosti.....	20
<b>Slika 12.</b> Grafikon prikazuje stupnjeve viskoznosti u odnosu na temperaturu.....	22
<b>Slika 13.</b> Usporedba motora s križnom glavom i klipnih motora.....	26
<b>Slika 14.</b> Mjesta uzimanja uzoraka ulja kod brodskih motora.....	33
<b>Slika 15.</b> Dijagram degradacije BN-a.....	34
<b>Slika 16.</b> Primjer Blotter testa za dobar i loš uzorak ulja .....	40

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 1.</b> API klasifikacija baznih ulja .....	9
<b>Tablica 2.</b> SAE klasifikacija motornih ulja prema viskoznosti SAEJ300, 1999.....	23
<b>Tablica 3.</b> Zahtjevi maziva za dizel motore .....	25
<b>Tablica 4.</b> Vrste motora i njihova namjena .....	26
<b>Tablica 5.</b> Karakteristike maziva za dizelske motore.....	27
<b>Tablica 6.</b> Marke i tipovi ulja za podmazivanje brodskih dizel motora.....	31
<b>Tablica 7.</b> Vrijednost BN mazivih ulja za brodske dizelske motore.....	35