

**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство**

**Ниво студија: Мастер академске студије**

**Модул: Производно машинство**

**Предмет: Трибомеханички системи**

**Број индекса: 337/2015**

**Катарина Б. Ристић**

# **Триболошке карактеристике био и литијумских мазива**

**мастер рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

1. Проф. др Слободан Митровић - ментор
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Датум одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ

Катедра за: ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

Предмет: Трибомеханички системи

## МАСТЕР РАД

са темом:

### **Триболошке карактеристике био и литијумских мазива**

Кандидат: Катарина Ристић, број индекса 337/2015

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да опише значај и примену подмазивања, као и врсте подмазивања, основну поделу мазива, њихове физичко – хемијске и триболошке карактеристике. Потребно је да прикаже и поређење био и литијумских мазива заједно са експерименталним делом у којем врши испитивања триболошких карактеристика оба мазива на трибометру, и прикаже добијене резултате.

Завршни рад треба да садржи следеће целине:

1. Увод
2. Подмазивање
3. Мазива
4. Литијумска мазива
5. Био мазива
6. Експериментални део
7. Закључак
8. Литература

Препоручена литература:

[1] Бабић М., *Мониторинг уља за подмазивање*, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 2004.

[2] Шилић Ђ., Стојковић В., Микулић Д., *Горива и мазива*, Велеучилиште Велика Горица, 2012.

[3] Грилец К., Ивушић И., *Трибологија*, Факултет стројства и бродоградње завод за материјале, Свеучилиште у Загребу, Загреб 2011.

Крагујевац, 2017.

Ментор:

Проф. др Слободан Митровић

---

## Summary

This thesis presents the comparison of bio and lithium lubricants as well as their tribological characteristics.

The thesis consists of seven chapters.

The first chapter is the introduction in which a brief overview of the papers is given.

The second chapter is the theoretical part about lubrication and various lubrication, where each type of lubrication is briefly described.

The third chapter provides a theoretical part about lubricants, division of their types, as well as basic components, and physicochemical and tribological characteristics. It is described what problems occur when choosing a lubricants, and the proper way of storing and transporting them.

The fourth chapter talks about lithium lubricants, their tribological character and application area, while five chapters speak of bio lubricants.

Chapter six shows the experimental part in which the two types of lubricants were examined on the tribometer, as well as the results of the obtained measurements.

Chapter seven is a review of graduation thesis as a whole, as well as the birth of bio and lithium lubricants based on the results achieved.

Key words: lubrication, lubricants, bio lubricants, lithium lubricants

## Резиме

Овим радом је показано поређење био и литијумских мазива као и њихових триболошких карактеристика.

Рад се састоји из седам поглавља.

Прво поглавље је увод у којем је дат кратак преглед рада.

Друго поглавље је теоријски део о подмазивању и врстама подмазивања, где је свака врста подмазивања укратко описана.

У трећем поглављу је дат теоријски део о мазивима, њихова подела, као и основне компоненте, и физичко - хемијске и триболошке карактеристике. Описано је који се проблеми јављају приликом избора мазива, и правилан начин складиштења и транспорта истих.

Четврто поглавље говори о литијумским мазивима, њиховим триболошким карактеристикама и подручју примене, док пето поглавље говори о био мазивима.

У шестом поглављу је приказан експериментални део у којем је вршено испитивање ове две врсте мазива на трибометру, као и резултати добијени мерењем.

Седмо поглавље је осврт на дипломски рад у целини као и поређење био и литијумских мазива на основу добијених резултата.

Кључне речи: подмазивање, мазива, био мазива, литијумска мазива

## Садржај

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 1. Увод.....                                          | 1  |
| 2. Подмазивање .....                                  | 3  |
| 2.1. Врсте подмазивања .....                          | 3  |
| 2.1.1. Гранично подмзивање .....                      | 6  |
| 2.1.2. Мешовито подмазивање .....                     | 7  |
| 2.1.3. Хидродинамичко подмазивање .....               | 8  |
| 2.1.4. Еластохидродинамичко подмазивање.....          | 9  |
| 3. Мазива.....                                        | 12 |
| 3.1. Компоненте мазива .....                          | 12 |
| 3.2. Особине мазива .....                             | 16 |
| 3.2.1. Физичко - хемијске карактеристике мазива ..... | 17 |
| 3.2.2. Триболошке карактеристике мазива .....         | 22 |
| 3.3. Проблеми код избора мазива .....                 | 23 |
| 3.4. Транспорт и складиштење мазива .....             | 25 |
| 4. Литијумска мазива.....                             | 27 |
| 5. Био мазива .....                                   | 30 |
| 6. Експериментални део .....                          | 34 |
| 6.1. Мерна опрема .....                               | 35 |
| 6.2. Резултати и анализа резултата мерења .....       | 37 |
| 7. Закључак .....                                     | 45 |
| 8. Литература.....                                    | 47 |

## 1. Увод

Трибологија је научна дисциплина која се бави проучавањем појава и процеса на контактним површинама које су у међусобној интеракцији при релативном кретању, чији је основни циљ истраживање услова за оптималну експлоатацију производних процеса, односно смањење потрошње енергије, смањење трошкова одржавања машина и повећање поузданости техничких система.

Основни процеси који се јављају при релативном кретању два чврста тела су трење и хабање контактних површина. Трење представља отпор релативном кретању површина у додиру. То је дисипативан процес који узрокује губитак енергије у трибомеханичким системима, смањење степена корисног дејства, промену параметара њихове структуре услед хабања, па чак и губитак радне способности. Хабање представља прогресиван губитак материјала са контактне површине крутог тела услед динамичког додира са другим крутим телом, флуидом и / или честицама.

Триболошки процеси узрокују директан губитак енергије и материјала. Током времена се манифестују погоршањем функционалности и отказом техничких система. Да би се умањиле, предупредиле и елиминисале негативне последице трења и хабања предузимају се различите триболошке мере тј. поступци и методе које имају за циљ постизање прихватљивих вредности трења и хабања у реалним трибомеханичким системима и могу се поделити на [4]:

- избор материјала трибоелемената,
- заштиту површина елемената од хабања и
- подмазивање.

Подмазивање је основна активност превентивног одржавања техничких система и дефинише се као примена одређеног средства са циљем да се смањи сила трења, а самим тим и хабање и оштећење клизних површина.

Материјал на клизним површинама којим се постижу ти ефекти представља мазиво. Основна функција мазива у трибомеханичком систему састоји се у раздвајању директног додира контактних површина које се релативно крећу.

Непосредно учешће мазива у контактним процесима између елемената који се релативно крећу обезбеђује му специфичан значај како са аспекта функционисања тако и са аспекта одржавања трибомеханичких система.

Примарна улога мазива је да спречи директну интеракцију површина елемената који се релативно крећу, али и да обави низ других задатака као што су смањење буке, спречавање продирања контаминената у зону контакта, заптивање, хлађење и сл. Осим што има улогу заштите од триболошких процеса који се јављају, као што су трење и хабање и друга штетна дејства, мазива имају и значајну улогу у спречавању отказа трибомеханичких система и застоја у њиховом раду.

Компоненте трибомеханичког система изложене су како дејству топлоте генерисане трењем и адсорбоване топлоте настале процесима унутрашних сагоревања горива или компресијом радног медија, тако и хемијском дејству материја које настају као продукт контаминације и деградације мазива и које изазивају појаву корозије.

Високе температуре и присуство контаминената изазивају појаву талога. Да би се очувале триболошке функције мазива и способност хлађења неопходно је додавати одређене адитиве који побољшавају карактеристике мазива.

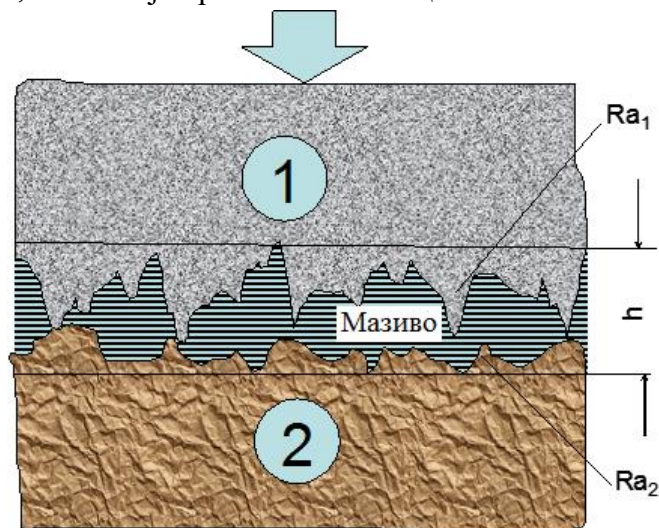
Примена мазива је веома битна због сталног раста потребе да се процеси трења и хабања у што већој мери смање, из неколико разлога [4]:

- продужетак века трајања трибомеханичких система,
- повећање ефикасности трибомеханичких система,
- смањење трошкова одржавања,
- смањење трошкова застоја,
- побољшање поузданости,
- повећање сигурности,
- очување оскудних извора материјала,
- очување енергије,
- смањење отпада и сл.

Подмазивање је од суштинског значаја за поуздан рад трибомеханичких система. Генерално је прихваћено да је 60% механичких отказа у техничким системима узроковано неадекватним начином подмазивања, док добро мазиво може и три пута да продужи век трајања трибомеханичког система.

## 2. Подмазивање

Подмазивање је поступак којим се смањује трење и хабање материјала применом различитих врста мазива. Основна улога подмазивања је да се површине у контакту раздвоје слојем мазива које се може кретати мањим отпором без изазивања оштећења површина, као што је приказано на слици 1.



Слика 1. Шема мазивог слоја у контактної зони [1]

Елементи машина које је током рада потребно подмазивати су клизни и котрљајни лежајеви, зупчаници, вођице, ланчани преносници, и сви други елементи код којих долази до релативног кретања. Ови елементи се међусобно крећу клизањем, котрљањем, примицањем и одмицањем. Уколико при том кретању дође до директног контакта између површина два елемента, тај контакт може изазвати међусобно напрезање или повећање брзине релативног кретања, које доводи до великих отпора трења чије су последице повишена температура и хабање.

Без подмазивања већина трибомеханичких система би радила само кратко време, јер би повећано хабање узроковало отказ или застој система. Трошкови поправке система могу бити велики приликом утrophка материјала, делова и сл., али губици настали прекидом производње су вишеструко већи. Уз неодговарајуће подмазивање, осим истрошења и пропадања појединих елемената система, може доћи и до великих губитака енергије, загревања елемената и преоптерећења погонског мотора.

### 2.1. Врсте подмазивања

Степен раздвојености контактних површина трибомеханичких елемената зависис од њихове хрпавости и дебљине слоја мазива. Може се изразити преко дебљине слоја мазива [1]:

$$\lambda = h / Ra'$$

где су:

$\lambda$  - релативна дебљина мазива,

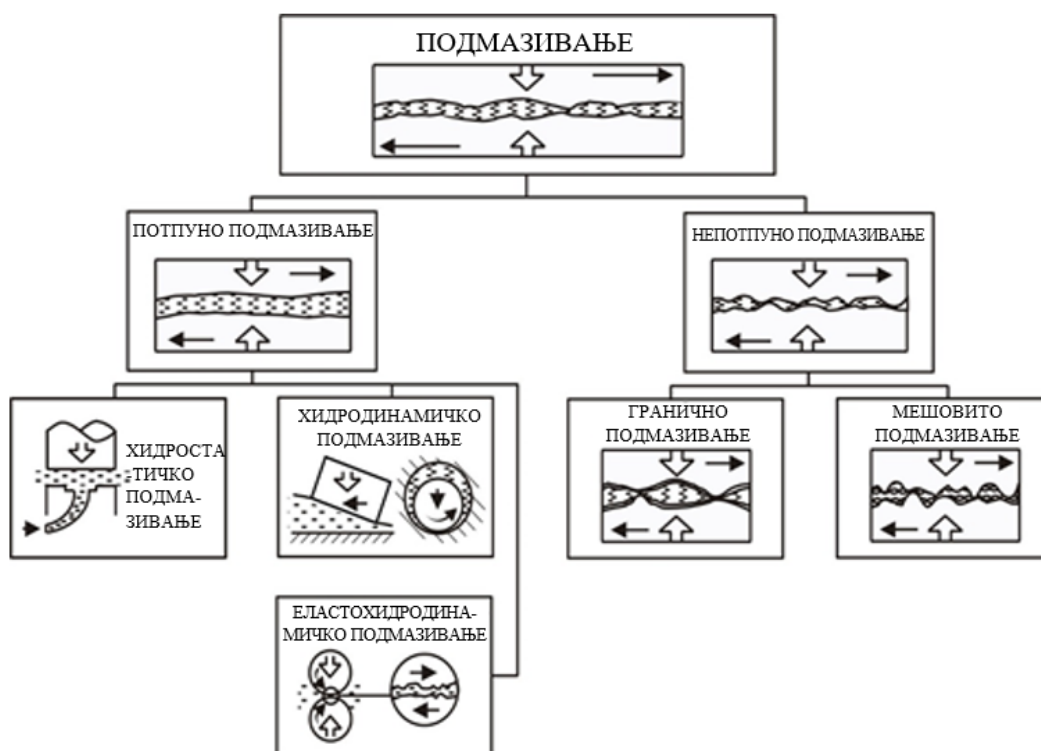
$Ra'$  - средње аритметичко одступање профила храпавости контактних површина,

$h$  - дебљина слоја мазива.

Сматра се да су површине у директном контакту за вредности  $\lambda < 1$ , у делимичном контакту за  $\lambda = 1$ , а потпуно раздвојене за вредности  $\lambda$  знатно веће од 1.

Према степену раздвојености тј. према дебљини слоја мазива, подмазивање се може поделити, као што је приказано на слици 2., на [1]:

- потпуно подмазивање и
- непотпуно подмазивање.



Слика 2. Врсте подмазивања [1]

Потпуно подмазивање се остварује у условима када је дебљина слоја мазива довољна за потпуно раздвајање контактних површина. За постизање таквог слоја мазива потребно је да се у мазиву обезбеди довољно велики притисак који може да поднесе спољашње оптерећење без разарања материјала. Овакав вид подмазивања се може остварити на различите начине [1]:

- Довођењем флуида под притиском:
  - хидростатичко подмазивање и
  - гасно - статичко подмазивање.
- Самогенерисањем унутрашњег притиска у флуиду:
  - хидродинамичко подмазивање,

- еласто - хидродинамичко подмазивање и
- гасно - динамичко подмазивање.

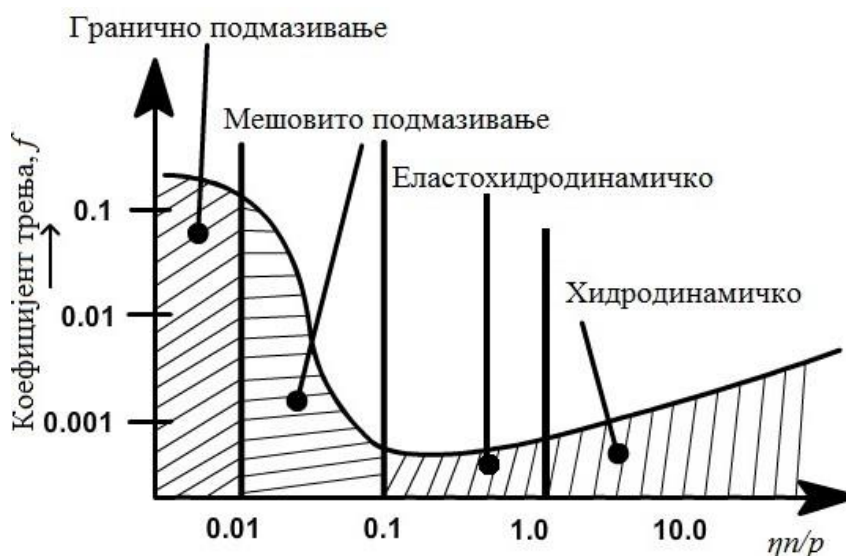
Непотпуно подмазивање представља врсту подмазивања где формирани слој мазива нема довољну дебљину да онемогући контакт површина. Дели се на [1]:

- гранично подмазивање и
- мешовито подмазивање.

**Табела 1.** Карактеристике видова подмазивања [1]

| Механизам подмазивања      | Карактеристике слоја мазива                  |                   | Коефицијент трења $f$ |
|----------------------------|----------------------------------------------|-------------------|-----------------------|
|                            | Минимална дебљина $h_{\min}$ , $\mu\text{m}$ | Релативна дебљина |                       |
| Гранично подмазивање       | 0,005 - 0,1                                  | $< 1$             | 0,03 - 0,2            |
| Мешовито подмазивање       | 0,01 - 1                                     | 1 - 4             | 0,02 - 0,15           |
| Хидродинамичко подмазивање | 1 - 100                                      | 10 - 100          | 0,001 - 0,01          |

Механизам подмазивања је дефинисан конструкцијским решењем трибомеханичког система. Конформне површине карактерише добро налегање, већа контактна површина и мањи контактни притисак. За ове површине карактеристично је хидродинамичко и хидростатичко подмазивање. Код неконформних површина контакт се остварује у тачки или по линији, карактерише их мала контактна површина и велико контактено оптерећење. Потпуно раздвајање код ових површина могуће је помоћу еластохидродинамичког подмазивања при коме настају еластичне деформације површина које се додирују.



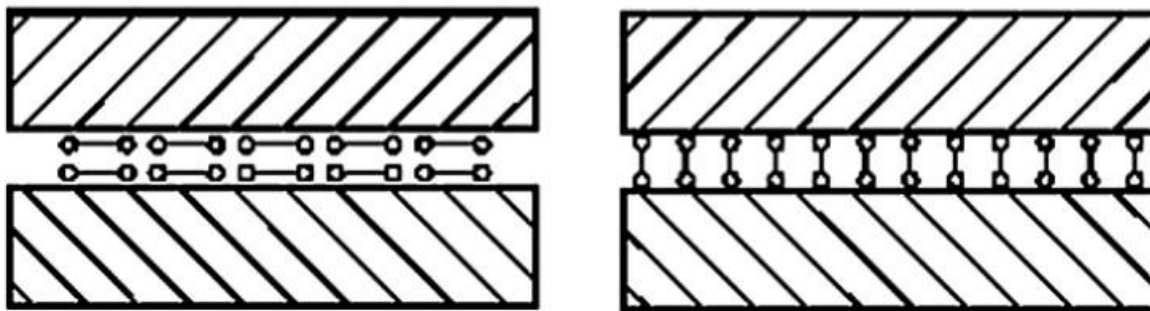
**Слика 3.** Stribec - ова крива [5]

Карактеристике различитих врста подмазивања најбоље показује тзв. *Stribec* - ова крива (слика 3.). Она представља зависност коефицијента трења ( $f$ ) од динамичке вискозности ( $\eta$ ), броја обртаја ( $n$ ) и контактнoг притиска ( $p$ ) [1].

### 2.1.1. Гранично подмазивање

Гранично подмазивање (слика 4.) је вид подмазивања који настаје између две површине у контакту између којих се не ствара довољно дебели слој мазива, тако да нема способност да онемогући триболошку интеракцију микронеравнина контактних површина. Јавља се код великих оптерећења када дебљина слоја мазива пада на величину молекула.

Адсорбовани веома танки слој мазива ( $5 \times 10^{-9}$  до  $10^{-8}$  m) ипак умањује појаву адхезионих веза (микрoзаварених спојева) микронеравнина у процесу релативног кретања. С обзиром да је број адхезионих веза редукован гранично подмазивање карактерише знатно мањи коефицијент трења од коефицијента код сувог трења [1].



Слика 4. Гранично подмазивање [3]

Понашање елемената у контакту зависи од физичко - хемијских интеракција у интерфејсу који чине чврсто тело - мазиво - чврсто тело. У складу са тим триболошке карактеристике контактних елемената су дефинисане физичким и хемијским својствима слоја мазива. Заштитни слој мазива настаје у интеракцији контактних површина и мазива, и може бити [1]:

- физичке природе (адсорпција) и
- хемијске природе (хемосорпција и хемијске реакције).

Код граничног подмазивања највише су изражена адхезивна и абразивна хабања материјала, а у мањем обиму су присутни трибохемијски процеси и хабање услед површинског замора материјала. У циљу смањења трења и хабања потребно је обезбедити погодни површински тј. гранични слој. Стварање граничног слоја могуће је остварити на три начина [4]:

- физичком адсорпцијом,
- хемијском адсорпцијом и
- хемијском реакцијом.

Физичка адсорпција се јавља када се активни молекул из мазива везује за површине. Поларни адитиви (нпр. масна уља) формирају на површинама метала чврст слој који има способност да се одупре продирању неравнина и на тај начин спречава

додир контактних површина. Овај вид стварања граничног слоја је погодан за мала оптерећења, ниже температуре и мале брзине кретања.

Код хемијске адсорпције активни молекули мазива везани су за металне површине хемијским везама, при чему настају метални сапуни веома добрих триболошких карактеристика. Ови гранични слојеви су погодни за средња оптерећења, средње температуре и средње брзине кретања.

Хемијском реакцијом између активних молекула мазива (*EP - Extreme Pressure*, адитива за високе притиске) и метала стварају се нова хемијска једињења на површинама. Ова мазива у свом саставу садрже хлор, фосфор и сумпор у облику различитих једињења.

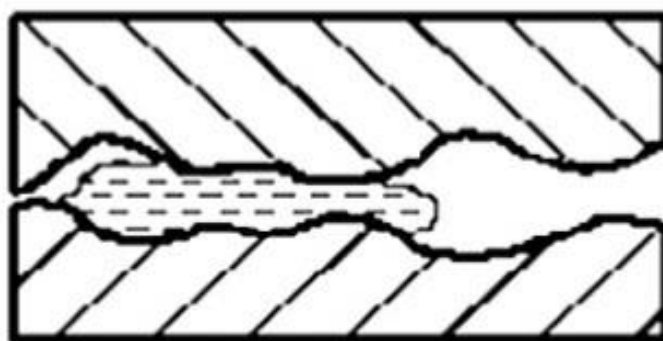
Системи са граничним подмазивањем имају следеће опште карактеристике:

- спрегнуте површине су у директном додиру,
- дебљина слоја мазива тежи нули,
- хидродинамички ефекти и величина вискозности мазива нису од утицаја на триболошке карактеристике система.
- триболошке карактеристике система су одређене међусобном интеракцијом веома танких слојева мазива и материјала чврстих површина.

Овај вид подмазивања карактеристичан је за услове концентрисаног контакта са Херцовим притисцима, за рад при малим брзинама клизања и променљивог режима клизања.

### 2.1.2. Мешовито подмазивање

Мешовито подмазивање (слика 5.) представља комбинацију граничног и хидродинамичког подмазивања. Дебљина слоја мазива се креће у границама од  $10^{-6}$  до  $10^{-8}$  m [1].



Слика 5. Мешовито подмазивање [3]

Овај вид подмазивања обезбеђује такве услове код којих је слој мазива делимично разорен и на тим местима долази до додира површина у контакту. Додир се остварује једним делом преко микронеравнина са адсорбованим мономолекуларним

или вишемолекуларним слојевима, а делимично преко успостављеног слоја мазива. До потпуног раздвајања контактних површина долази само у појединим деловима контакта.

За процес мешовитог подмазивања битне су како физичке карактеристике мазива тако и хемијске интеракције између мазива и чврстог материјала.

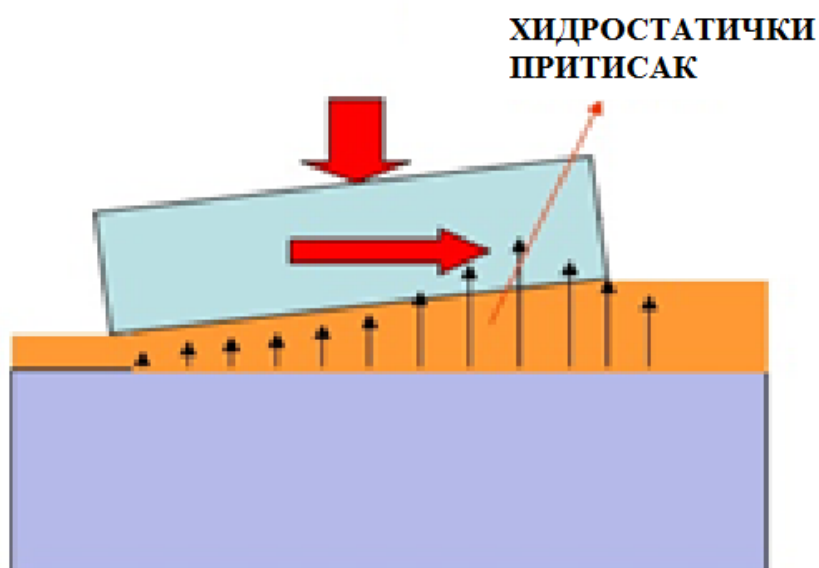
Овај вид подмазивања се среће код зупчастих парова, кугличастих и ваљкастих котрљајних лежајева, заптивки, па чак и код неких клизних лежајева.

### 2.1.3. Хидродинамичко подмазивање

Хидродинамичко подмазивање (слика 6.) обезбеђује раздвајање површина дејством унутрашњег притиска у филму мазива. Притисак се ствара услед релативног кретања површина у контакту.

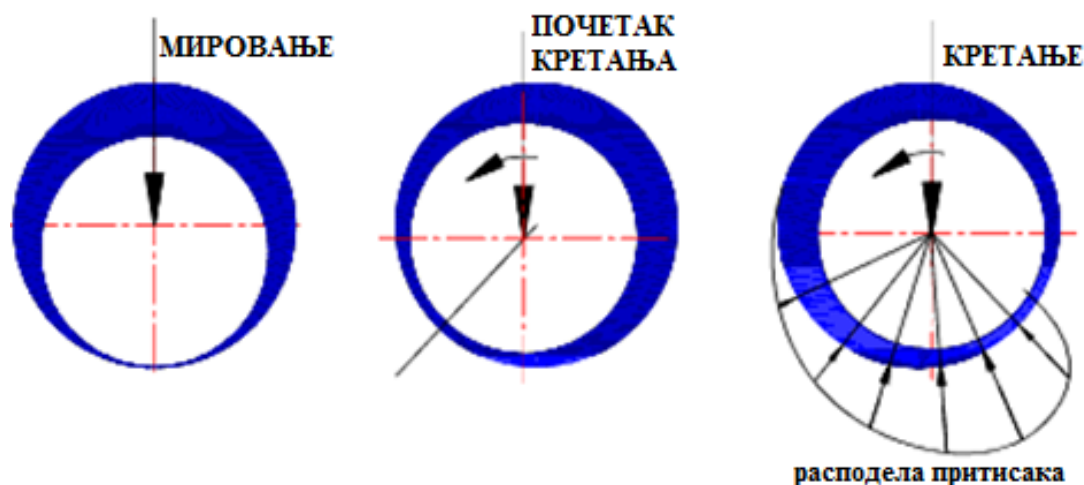
Елементи трибомеханичког система код којих се користи хидромеханичко подмазивање се одликују следећим карактеристикама [4]:

- површине које се подмазују су развојене континуалним слојем мазива који има довољну дебљину да спречи додир контактних површина, осим при покретању или заустављању система,
- оптерећење се преноси са једне на другу површину преко слоја мазива који има одређену носивост која је резултат релативног кретања површина,
- отпор услед трења у систему је одређен већином унутрашњег трења у мазиву,
- елиминисана је појава хабања уколико су контактна геометрија и услови контакта такви да носећа способност филма обезбеђује потпуно раздвајање површина.



Слика 6. Генерисање хидродинамичког притиска између две конвергентне површине [4]

За хидродинамичко подмазивање је карактеристично и то да су површине у додиру конформне. То значи да су прилагођене једна другој тако да се оптерећење преноси преко релативно велике површине додира (слика 7.).



Слика 7. Хидродинамичко подмазивање [6]

Основни услови за генерисање хидродинамичког притиска су следећи [1]:

- површине морају да буду у релативном кретању,
- површине морају да конвергирају тј. да образују клинасти зазор у смеру кретања
- контактено тело на које делује хидродинамички притисак мора да има слободу малог искретања и подизања у односу на тело које је спрегнуто,
- површине између којих делује хидродинамички притисак морају да буду довољно велике да би дошло до потпуног раздвајања слојем мазива и
- флуид мора да има довољно велику вискозност.

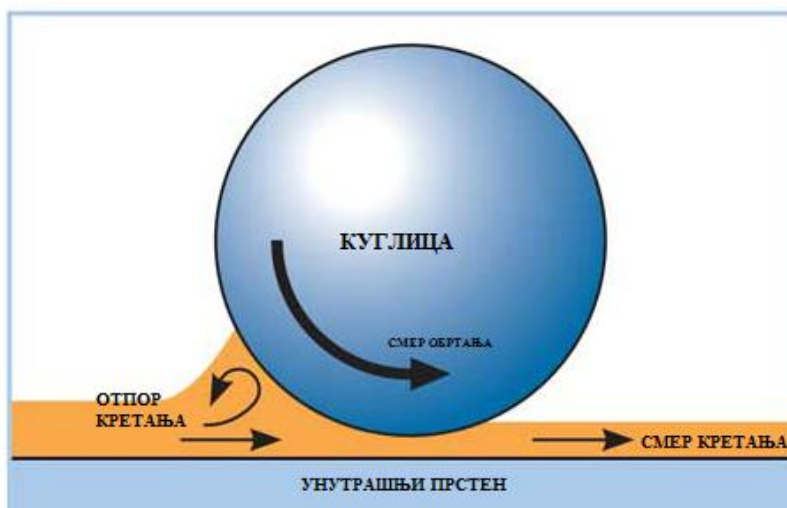
Хидродинамичко подмазивање је карактеристично за клизне лежајеве. Оно не настаје одмах, већ преко мешовитог и еластохидродинамичког режима подмазивања. Код радијалних клизних лежајева се јавља клинасти облик зазора између постелице и рукавца. Зазор се формира под дејством спољашњег оптерећења и он представља предуслов за настајање хидродинамичког подмазивања. Када рукавац почне да се обрће увлачи се филм мазива у клинасти зазор. Притисак мазива расте, рукавац се подиже и помера у страну, да би се при довољном, тзв. критичном броју обртаја формирао уљни филм дебљине  $h_0$ , довољне да потпуно раздвоји површине рукавца и постелице, и притиска  $p$  који може да поднесе спољашња оптерећења [1].

#### 2.1.4. Еластохидродинамичко подмазивање

Еластохидродинамичко подмазивање (слика 8.) представља вид потпуног подмазивања које се дефинише као подмазивање код кога су трење и дебљина уљног филма одређени еластичним својствима материјала елемената у контакту и

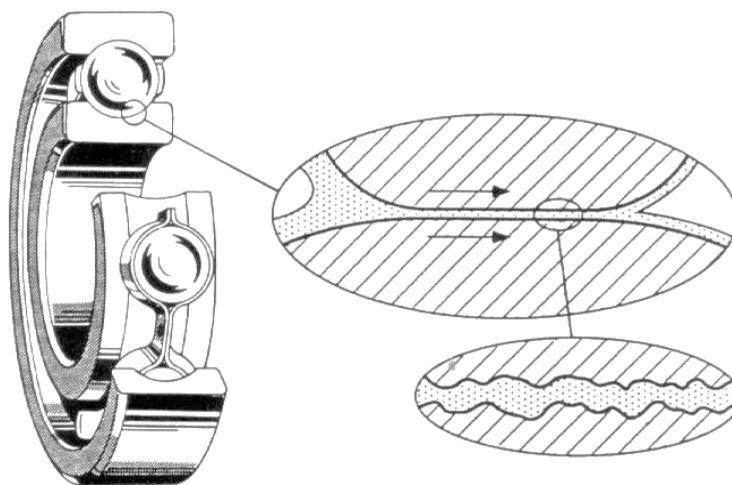
карактеристикама мазива које се користи. Додир између површина у контакту је неконформан тзв. *Hertz* - ов контакт. Код овог вида подмазивања се целокупно оптерећење преноси преко релативно мале површине додира. Теоријски, додир код овог типа подмазивања се остварује у тачки или по линији. Стварни додир је по некој малој али коначној површини.

Мала додирна површина узрокује велика специфична оптерећења, што изазива еластичне деформације површинских слојева материјала контактних елемената и промену геометрије површине додира.



Слика 8. Еластохидродинамичко подмазивање [7]

Захваљујући локалној еластичној деформацији стварају се потребни геометријски услови за формирање кохерентног филма флуида који потпуно онемогућава додир микронеравнина (слика 9.). То се дешава при веома малој дебљини уљног филма, од  $10^{-7}$  до  $10^{-6}$  m, и при вредности релативне дебљине филма  $\lambda$  у границама од 3 до 10. Може се рећи да еластохидродинамичко подмазивање зависи од модула еластичности (еластичних својстава) материјала контактних елемената.



Слика 9. Шематски приказ еластохидродинамичког филма [1]

Еластохидродинамичко подмазивање се најчешће користи код котрљајних лежајева, зупчаника и брегастих механизма, који се израђују од материјала са великим модулом еластичности, као што су конструкцијски челик и керамика. Као што је већ речено, контакт површина код ових преносника се остварује у тачки или по линији. Под дејством великог специфичног оптерећења долази до појаве еластичних деформација, које на локалном нивоу исправљају постојећу макронеконформност површина у додиру. Осим на појаву деформација, велики контактни притисак утиче и на велико повећање вискозитета мазивог флуида.

### 3. Мазива

Некада су се за подмазивање свих врста механичких система користила чиста минерална уља, односно уљни дестилати без икаквих додатака. Током времена, произвођачи механичких система стално постављају нове и теже услове у погледу побољшања учинка мазива. Савремени механички системи захтевају мазива са побољшаним особинама, које чиста минерална уља не могу имати, а осим тога и еколози постављају услове у погледу токсичности и заштите животне средине.

Појам мазива подразумева течне, чврсте и гасовите материјале који се користе у циљу смањења трења између површина у контакту које се релативно крећу. Осим тога користе се и за пренос снаге, топлоте, за хлађење, заштиту од корозије, заптивање и сл. Најширу употребу у пракси имају мазиве масти и уља.

Мазиво је средство које се наноси на контактне површине са циљем ублажавања основних триболошких феномена, тј. трења и хабања. Према функцији разликују се две основне групе мазива [4]:

- конструкциона мазива и
- технолошка мазива.

Мазиве масти и уља су конструкциони елементи механичких система. Са развојем механичких система захтеви се мењају из дана у дан, тако да произвођачи мазива морају да прате технолошки и технички тренд развоја. Правилна употреба мазива осигурава сигуран и економичан рад, а поред тога и обезбеђује дужи животни век механичких система.

Технолошка мазива која се примењују при обради метала резањем и деформацијом у циљу подмазивања и хлађења алата и материјала који се обрађује. Осим тога служи и да продукте обраде одстрани из зоне резања.

Према агрегатном стању мазива се могу поделити на [4]:

- чврста мазива,
- полутечна мазива,
- течна мазива,
- течна мазива мале вискозности и
- гасовита мазива.

Са аспекта практичне примене најзначајнија су [4]:

- уља за подмазивање,
- мазиве масти и
- чврста мазива.

#### 3.1. Компоненте мазива

Мазива уља садрже две основне компоненте а то су [4]:

- базна уља и
- адитиви.

Мешањем базних уља одређених вискозних градација и различитих група адитива добија се широка палета мазивих уља која се међусобно могу разликовати по намени, реолошким, триболошким и другим радним способностима.

| БАЗНА УЉА                                                                                                                                                                                                                            | + | АДИТИВИ                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | = | МАЗИВА УЉА                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Конвенционална базна уља:<br>-Рафинати<br>-Рерафинати<br>Неконвенционална базна уља:<br>-Хидрокрекована базна уља<br>-Синтетички угљоводоници<br>-Синтетички естри<br>-Полигликоли<br>Биљна уља:<br>-Репичино уље<br>-Рицинусово уље |   | -Детергенти<br>-Дисперзанти<br>-За заштиту од хабања<br>-За заштиту од високих притисака (ЕР)<br>-Инхибитори рђе и корозије<br>-Модификатори трења<br>-Депресанти тачке течења<br>-Импрувери индекса вискозности<br>-Омекшивачи еластомера<br>-Инхибитори оксидације уља<br>-Инхибитори пене<br>-Деактиватори метала |   | -Уља за четворотактне моторе<br>-Уља за двотактне моторе<br>-Уља за мењаче и диференцијале<br>-Уља за аутоматске мењаче<br>-Универзална уља за тракторе<br>-Уља за кочнице-Хидраулична и остала индустријска уља |

Базно уље може бити [4]:

- минерално (конвенционално),
- синтетичко (неконвенционално) и
- природно (биљно или животињско).

Већина базних уља која се користе су минералног порекла тј. уља која представљају деривате нафте. Принцип производње базних уља из нафте се базира на коришћењу низа корака који се изводе у циљу добијања жељених карактеристика, као што су индекс вискозности, отпорност према оксидацији, стабилност на високим и ниским температурама и сл.

Базна уља се добијају из нафте следећим поступцима [3]:

- дестилација - постизање одговарајуће вискозности,
- рафинација - побољшавање оксидационих својстава и вискозно - температурног понашања,
- депарафинација - побољшавање нискотемпературних својстава и
- завршна обрада водоником - побољшавање стабилности и боје.

Квалитет добијених минералних базних уља зависи од врсте сирове нафте и технологије производње. Зависно од врсте нафте поступцима рафинације добијају се две врсте базних уља [4]:

- парафинска минерална базна уља и
- нафтенска минерална базна уља.

Највећи део минералних уља за подмазивање се базира на парафинским минералним базним уљима (више од 80%). Нафтенска базна уља се користе за

специјалне намене, углавном када је потребно обезбедити течење на ниским температурама.

Постоје и ароматска минерална базна уља која се не препоручују за подмазивање због својих лоших карактеристика.

Карактеристике ове три врсте минералних базних уља су приказане у табели.

**Табела 2.** Карактеристике минералних базних уља [1]

| Карактеристике                         | Парафинска уља | Нафтенска уља | Ароматска уља |
|----------------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Вискозност, cSt на 40°C                | 40             | 40            | 36            |
| Вискозност, cSt на 100°C               | 6,2            | 5             | 4             |
| Индекс вискозности                     | 100            | 0             | -185          |
| Специфична тежина                      | 0,8628         | 0,9194        | 0,9826        |
| Тачка паљења, °C                       | 229            | 174           | 160           |
| Тачка стињавања, °C                    | -15            | -30           | -24           |
| Процентуални састав парафинских уља, % | 66             | 45            | 23            |
| Процентуални састав нафтенских уља, %  | 32             | 41            | 36            |
| Процентуални састав ароматских уља, %  | 2              | 14            | 41            |

Основне предности минералних у односу на синтетичка базна уља су та што су минерална јефтинија и економичнија и што могу задовољити већину употребних захтева.

Синтетичка базна уља се производе хемијском синтезом у веома сложеним технолошким процесима и у основи представљају синтетизоване угљоводонике или органска полимерна једињења. С обзиром да се добијају синтетички, ова уља обично имају конзистентнију и униформнију структуру у односу на минерална. Намењена су условима у којима нормална минерална уља не могу обављати своју функцију.

Синтетичка уља одликују следеће карактеристике [1]:

- с обзиром да не садрже восак синтетичка уља се могу користити на ниским температурама,
- могу се користити на знатно вишим температурама него минерална,
- имају бољу оксидациону стабилност, због чега је на високим температурама мање присутна појава стварања киселина и муља,
- имају стабилнији индекс вискозности, што им омогућава стабилност при раду на ширим температурским распонима,
- имају дужи интервал замене,
- омогућавају рад на нижим температурама, што доводи до уштеде енергије и сл.

Поред добрих карактеристика синтетичких уља, треба имати у виду и лоше као што су [1]:

- цена синтетичких уља је знатно већа од цене минералних, однос цена је пет и више пута,

- многа синтетичка уља су некомпатибилна са заптивкама, превлакама и бојама које се налазе на материјалима и
- синтетичка уља одликује токсичност.

Биоразградива базна уља су нашла своју широку примену последњих година, због захтева заштите животне средине. Процес разградње врше микроорганизми који у идеалном случају трансформишу уља у угљен диоксид, воду и беланчевине. Минерална уља која се производе из нафте биолошки су тешко разградива. Разградња може трајати месецима, па чак и годинама.

Мазива чија се разградња одвија много брже него код минералних уља називају се биолошки брзо разградивим.

Биолошка разградња је могућа увек када су испуњени следећи услови:

- присуство микроорганизама,
- присуство кисеоника за дисање микроорганизама,
- присуство азота и фосфорних једињења за исхрану микроорганизама,
- одговарајућа температура, јер се биолошка разградња брже одвија у топлој средини него у хладној,
- мазиво не сме бити загађено материјама које убијају микроорганизме или их чине неефикасним.

У последње време, захтеви заштите животне средине, намећу произвођачима мазива задатак да интензивирају развој биолошки брзо разградивих мазива. С обзиром да само 1l минералног уља загади око 1000000l воде, довољан је разлог за све већом применом биолошки брзо разградивих уља.

| БАЗНА УЉА                                                                                                                                                                                                                            | + | АДИТИВИ                                                                                                                                                                   | + | УГУШЋИВАЧИ                                                                                                                                                 | = | МАЗИВЕ МАСТИ                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Конвенционална базна уља:<br>-Рафинати<br>-Рерафинати<br>Неконвенционална базна уља:<br>-Хидрокрекована базна уља<br>-Синтетички угљоводоници<br>-Синтетички естри<br>-Полигликоли<br>Биљна уља:<br>-Репичино уље<br>-Рицинусово уље |   | -За заштиту од хабања<br>-За заштиту од високих притисака<br>-Инхибитори рђе и корозије<br>-Инхибитори оксидације<br>-Чврсте материје за побољшавање својства подмазивања |   | Сапуни метала:<br>-Литијумови<br>-Калцијумови<br>-Натријумови<br>-Алуминијумови<br>-Баријумови<br>Остали угушћивачи:<br>-Бентонит<br>-Полиуретани<br>-Гели |   | -Вишенаменске масти<br>-Масти за високе температуре<br>-Масти за ниске температуре<br>-Масти за централно подмазивање<br>-Силикагелне масти<br>-Бентонитне масти<br>-Полиуретанске |

Мазиве масти поред базних уља и адитива садрже још и угушћиваче. Могу се дефинисати као чврста или получврста мазива, настала дисперговањем угушћивача у мазивом уљу. Својства мазивих масти зависе углавном од врсте угушћивача који могу бити сапунског или несапунског порекла и комплексни сапуни.

Масти се понашају као и уља у много случајева, а користе се тамо где је неприступачно користити уља за подмазивање. Маст неће лако исцурети из механичког система али ће ефикасно штитити од нечистоћа и спречавати трење и хабање. С друге стране маст је тешко довести у лежај нпр. и готово су потпуно некорисне за хлађење.

У следећој табели су приказане карактеристике свих типова мазива.

**Табела 3.** Карактеристике мазива

| Својства мазива            | Уље                       | Мазива маст           | Чврсто мазиво     | Гасовито мазиво     |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| Хидродинамичко подмазивање | одлично                   | пролазно              | никакво           | добро               |
| Гранично подмазивање       | слабо до одлично          | добро до одлично      | добро до одлично  | слабо               |
| Хлађење                    | врло добро                | слабо                 | никакво           | пролазно            |
| Трење                      | добро                     | пролазно              | слабо             | одлично             |
| Способност заптивања       | слабо                     | врло добро            | добро             | врло слабо          |
| Заштита од корозије        | одлично                   | добро до одлично      | слабо до пролазно | одлично             |
| Температурни распон        | одлично                   | добро                 | добро до одлично  | одлично             |
| Испарљивост                | врло високо до ниско      | ниско                 | ниско             | врло високо         |
| Запаљивост                 | врло високо до врло ниско | ниско                 | ниско             | неограничено варира |
| Компатибилност             | врло лоше до добро        | пролазно до добро     | одлично           | добро               |
| Цена мазива                | ниска до врло висока      | високо до врло високо | високо            | врло ниска          |

### 3.2. Особине мазива

Особине мазива су одређене особинама базних уља и адитива. Све особине мазива се могу поделити на [1]:

- физичке,
- хемијске и
- експлоатационе.

У физичке особине спадају: густина, вискозност, индекс вискозности, тачка паљења, тачка течења, испарљивост, емулзивне особине, способност растварања гасова и издвајања гасова, стварање пене, конзистенција и пенетрација масти, тачка капања, издвајање уља из масти, боја, специфична топлота и топлотна проводљивост и друге.

У хемијске особине спадају: оксидациона стабилност, термичка стабилност, водоотпорне особине, неутрализациони број, садржај пепела, садржај кокса, садржај воде, сапонификациони број и друге.

У експлоатационе особине спадају: ЕР својства (Extreme pressure – висока контактна оптерећења) и отпорност на хабање, отпорност мазивог филма, антихабајућа својства мазива код зупчаника, антихабајућа својства хидрауличних уља итд.

### 3.2.1. Физичко - хемијске карактеристике мазива

#### Густина

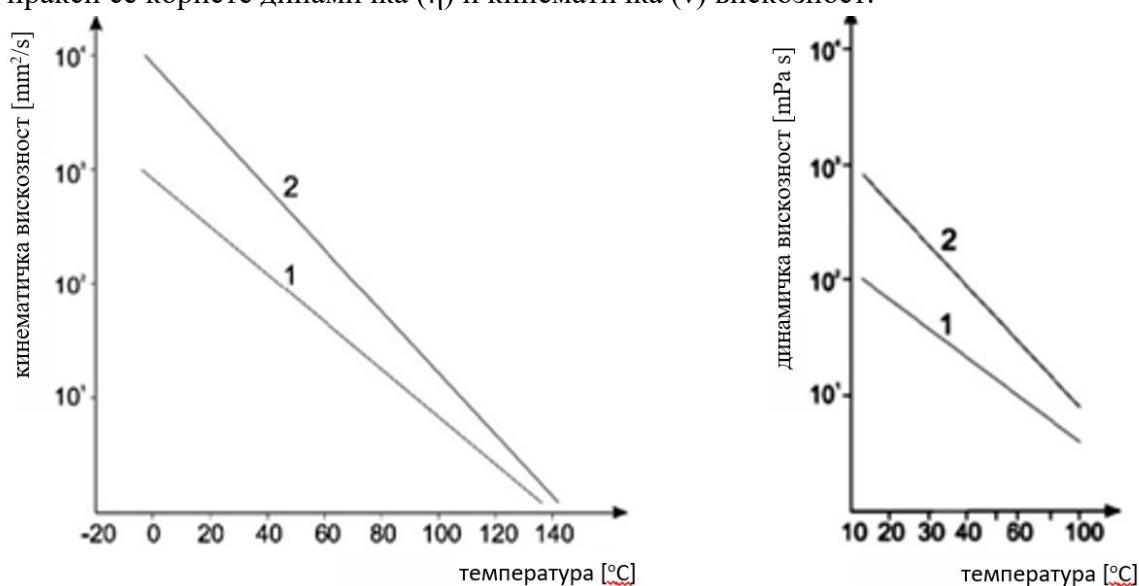
Густина је однос масе и запремине уља:

$$\rho = m / V$$

Одређује се на температури од 15°C и изражава се у (kg / m<sup>3</sup>) или (g / cm<sup>3</sup>). Густина се незнатно мења са порастом притиска, али се знатно мења са променом температуре, јер се променом температуре мења запремина течности.

#### Вискозност

Вискозност је један од основних критеријума оцене квалитета уља, а дефинише се као унутрашње трење или отпор при кретању под дејством неке силе. Од вискозности зависи квалитет подмазивања, енергетски губици током протицања, рад уљне пумпе, довођење довољне количине уља до свих места која се подмазују, успешност рада пречистача уља, чишћење површина, херметизација места трења итд. У пракси се користе динамичка ( $\eta$ ) и кинематичка ( $\nu$ ) вискозност.



**Слика 11.** Вискозно - температурни правци кинематичке и динамичке вискозности где су: 1 - парафинско уље и 2 - нафтенско уље [9]

Динамичка вискозност је дефинисана Њутновим законом, и једнака је односу напона смицања  $\tau$  и брзине смицања  $V$ . Јединице за динамичку вискозност су: Pas (Паскал секунда) и mPas (мили Паскал секунда), док се раније користио P (Поаз) или cP (Центипоаз) [1].

$$\eta = \tau / V$$

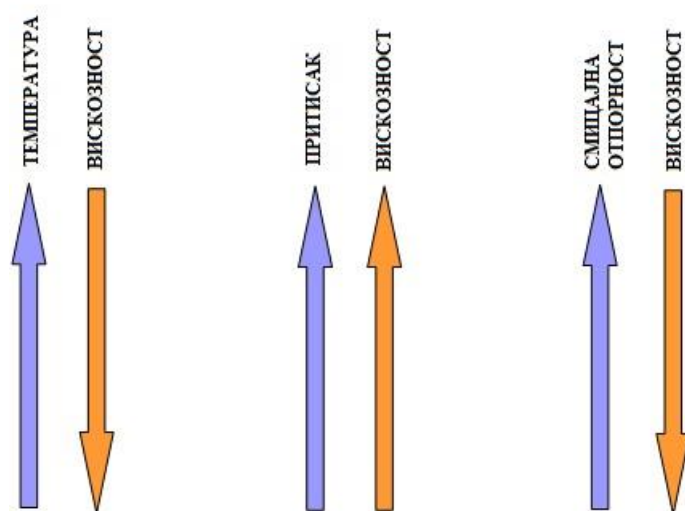
У пракси се више користи кинематичка вискозност која представља однос динамичке вискозности и густине флуида на одређеној температури и притиску [1]:

$$\nu = \eta / \rho$$

Јединица за кинематичку вискозност је:  $\text{mm}^2 / \text{s}$ . Раније коришћене јединице су: St (Стокес) и cSt (Центистокес) или  $^\circ\text{E}$  (Енглерови степени). Вискозност је веома значајна карактеристика мазива јер пресудно утиче на способност раздвајања контактних површина. То је посебно изражено у условима потпуног подмазивања, где се директно одражава на остварену дебљину слоја мазива, пораст температуре и губитке услед трења.

На слици 11. је приказано поређење вискозно – температурских праваца кинематске и динамичке вискозности.

Вискозност одређеног материјала није константна вредност, већ се мења са променом температуре, притиска и физичког стања.



Слика 12. Природа промене вискозности [4]

Вискозност опада са порастом температуре а расте са порастом притиска. Са падом вискозитета опада смицајна отпорност мазива што је приказано на слици 12.

### Индекс вискозности

Индекс вискозности је емпиријска вредност која указује на промену вискозности са променом температуре. Више вредности индекса вискозности указују на мање изражену склоност промени вискозности са променом температуре и обрнуто. Веће вредности индекса вискозности од 100 имају само мултиградна уља и добијају се додавањем специјалних адитива за унапређење индекса вискозности.

Зависност вискозности и температуре је веома важно узети у обзир при одабиру мазива поготово за услове рада са великим променама радне температуре.

### Тачка паљења

Тачка паљења је најнижа температура до које треба загрејати неко уље у условима при којима ће се ослободити пара, која ће се тренутно запалити када се до ње принесе отворен пламен, без трајног горења. Изражава се у  $^\circ\text{C}$  и сматра се мерилем

испарљивости и запаљивости, а значајна је за транспорт и складиштење због опасности од пожара и експлозије.

### Тачка течења

Тачка течења представља најнижу температуру на којој неко мазиво уље, приликом хлађења, још показује тенденцију течења.



Слика 13. Приказ разлике вискозности истицањем 200ml различитих уља након 2 дана на  $-35^{\circ}\text{C}$  [3]

Непосредно испод ове температуре уље се потпуно стињава и престаје да тече. Та температура се назива **тачка стињавања**. Тачка течења се изражава у  $^{\circ}\text{C}$ . На слици 13. је приказано понашање различитих уља на истој температури.

### Испарљивост

Испарљивост подразумева количину уља која испари у прописаном времену на прописаној температури. Представља важну карактеристику моторних уља, јер се код уља која имају велику испарљивост јављају разни проблеми у току експлоатације, као на пример: повећана потрошња, угушћивање, а с тим и погоршано подмазивање. Осим тога са повећањем испарљивости расте опасност од пожара. Губитак уља испаравањем на температури од  $40^{\circ}\text{C}$  код већине уља износи око 5%, а смањење испаравања минералног уља се може постићи додавањем синтетичке основе.

### Емулзивност и деемулзивност

Под емулзивним особинама подразумева се склоност неког уља да у присуству воде гради стабилну емулзију. Код већине мазивих уља (моторна, индустријска) захтевају се неемулзивне особине, док су код неких (уља за хлађење и подмазивање при обради метала, тешко запаљива емулзивна хидраулична уља) пожељне добре емулзивне особине.

Емулзивност уља се мери временом потребним за потпуно раздвајање уља и воде.

Под појмом деемулзивност подразумева се способност уља да ослобађа воду и да не гради емулзију. Изражава се бројем секунди потребних за потпуно раздвајање воде и уља.

### **Стварање пене – пенушање уља**

Под пенушањем се подразумева склоност уља да раствара ваздух и да са њим гради пену. Пена врло неповољно утиче на квалитет подмазивања и има за последицу поремећаје у раду техничких система, повећано хабање, убрзану оксидацију, старење уља итд.

Генерално минерална уља имају веома малу тенденцију ка пенушању, али присуство адитива, контаминација водом и другим страним материјалима и промена површинског напона могу довести до стварања пене.

Изражава се у запреминским јединицама и стабилношћу пене на различитим температурама. Одређује се мерењем запремине пене (ml) у стандардизованим поступцима удувавањем ваздуха у мазиви филм током одређеног времена и на одређеној температури, и мерењем времена до настанка пене (y min).

### **Оксидациона стабилност**

Дефинисана је као мерило отпорности мазивих уља на дејство кисеоника. Представља једну од најважнијих особина одговорну за дужину радног века уља али и за корозивност делова механичких система коју изазивају оксидациони продукти. Парафини оксидацијом прелазе у киселине и поликондензационе смоласте производе. У почетку ти производи су меки и делимично се растварају у уљу, повећавајући му вискозност. У даљој фази употребе ти талози прелазе у чврсте, што има за последицу веће штете на склоповима механичких система.

Одређује се у контролисаним условима различитим стандардизованим методама и обично се исказује бројем сати до достизања дефинисаног пораста вискозности или достизања дефинисаног пораста тоталног киселинског броја (TAN - *Total Acid Number*).

### **Термичка стабилност**

Дефинише се као отпорност уља на разлагања услед дејства топлоте. Изражава се температуром на којој почиње разлагање. Термооксидативно разлагање је веома важно у пракси, јер је познато да се оксидација уља удвостручава са порастом температуре за сваких десет степени изнад прописане.

### **Неутрализациони број**

Неутрализациони број представља показатељ киселости или базности уља. Дефинише се као број милиграма реагенса потребног да у прописаним условима неутрализује грам узорка уља. Изражава се у mgKOH / g узорка уља [1].

### **Киселински број (TAN - *Total Acid Number*)**

Дефинише се као киселост мазивих уља која потиче само од јаких киселина. Представља број милиграма базног реагенса КОН потребан да неутралише све киселе

конституенте у граму узорка уља. Одређује се истим методама као неутрализациони број и изражава се такође у mgKOH / g узорка уља [1].

Разлика између неутрализационог и киселинског броја је у томе што се титрација не завршава при истој вредности pH, па је киселински број за исти узорак уља обично мањи од неутрализационог броја.

### **Укупни базни број (TBN - *Total Base Number*)**

Укупан базни број се дефинише као мера алкалности која потиче од свих материја у мазиву које показују базну реакцију. Изражава се у mgKOH / g узорка уља. То је еквивалент за количину киселог реагенса HCl потребног да се неутрализују све базне материје у једном граму узорка мазива [1].

### **Садржај пепела**

Дефинише се као мерило садржаја једињења метала и других неорганских компонената у мазиву. Пепео у мазивим уљима потиче од несагорелих састојака и може се одређивати у виду оксида – оксидни пепео, и у виду сулфата – сулфатни пепео. Код уља без адитива пепео се одређује у облику оксида и представља мерило садржаја неорганских нечистоћа. Код уља са адитивима, пепео се одређује у облику сулфата. Садржај пепела често је добар показатељ у којој су мери у неком коришћеном уљу присутни различити метали који потичу од хабања металних површина. На тај начин може се открити место повећаног хабања и превентивно деловати на отказ.

### **Садржај кокса**

Користи се за оцену понашања уља у термички оптерећеним механичким системима, а посебно за оцену старости уља у току употребе. Коксни остатак указује и на дубину рафинације, а код коришћених уља указује на степен деградираности у експлоатацији, односно квалитет базних уља. Изражава се у масеним процентима.

### **Хидролитичка стабилност**

Хидролитичка стабилност је мерило отпорности уља, односно неких адитива, да ступају у реакцију са водом. Хидролитички нестабилни адитиви се разлажу на компоненте које могу стварати талог а могу бити и корозивне. При томе се смањује њихов садржај у уљу што има за последицу његову брзу деградацију.

### **Корозивност**

Корозивност уља подразумева агресивно понашање неких његових компонената према елементима механичких система. То је карактеристика мазива која одређује склоност мазива ка изазивању корозије метала са којим остварује контакт. Практично се одређује у односу на бакар и бакарне легуре па се карактеристика другачије назива и корозивност на бакру. Иако минерална уља не делују корозивно на бакар, неки адитиви, посебно EP адитиви, који садрже сумпор могу бити корозивни.

### Сапонификациони број

Сматра се мерилом садржаја материја подложних сапонификацији, као што су на пример природне масти. Сапонификациони број је нарочито битан код уља за обраду метала која садрже компоненте на бази природних масти. Изражава се у милиграмима калијумхидроксида потребним за потпуну сапонификацију неких материја подложних тој реакцији у узорку од једног грама уља.

### 3.2.2. Триболошке карактеристике мазива

Триболошке карактеристике мазива су параметри који карактеришу способност мазива да обавља своје основне триболошке функције, а то су смањење трења и заштита површина од хабања. На основу тога се примарне триболошке карактеристике деле на [1]:

- функционалне особине (мазиво својство) и
- антихабајуће особине.

Триболошке карактеристике којима се описују елементи у контакту су: сила трења, коефицијент трења, бука, вибрације, пораст температуре, интензитет хабања и дебљина слоја мазива, учешће продуката хабања у мазиву итд.

Као што је већ речено, основна улога мазива је да спречи директни контакт површина елемената трибомеханичког система. Ова функција мазива реализује се у различитим режимима подмазивања. Разарање слоја мазива доводи до наглог раста коефицијента трења, формирања и развоја оштећења површина у контакту изазваних адхезијом и преношењем материјала, што даље води до хабања и онемогућавања релативног кретања површина тј. заривавања. Да би се то спречило потребно је да мазиво има одговарајућу моћ ношења тј. да може да се супростави спољашњим притисцима, посебно екстремно високим притисцима тзв. ЕР мазива.

Поред високих притисака, на издржљивост мазива утичу и повишене температуре које се јављају у контакту. Зато мазиво мора да има способност да и на повишеним температурама обезбеди довољну раздвојеност површина тј. низак коефицијент трења.

Осим ових особина, мазиво мора да има и друга својства која се не односе на издржљивост мазивог слоја. Те карактеристике су [1]:

- способност подношења високих оптерећења (ЕР способност),
- температурска издржљивост при трењу и
- век трајања.

Развојем теоријских поставки процеса хабања развиле су се и бројне експерименталне методе за испитивање триболошких карактеристика. Ова испитивања спадају у групу лабораторијских испитивања која се обављају на специјално конструисаним уређајима трибометрима.

Испитивање се врши остваривањем контакта два тела која имају геометрију која симулира одређене услове контакта, у тачки, по линији или површини. Између елемената реалног трибомеханичког система и елемената трибомеханичког система на трибометру не постоји геометријска сличност. Услови у којима се врше испитивања су

дефинисана брзином клизања, оптерећењем, врстом материјала елемената у контакту и њиховом топографијом.

Носећа способност мазива (*Load Carrying Capacity*) дефинише се преко максималног контактнoг оптерећења, тј. притиска које мазиво може да поднесе без оштећења контактних површина. Оштећење се карактерише као задирање или контактнo микрoзаваривање које доводи до заривања система.

Способност подношења екстремно високих притисака (*Extreme Pressure Properties*) може се изразити на неколико начина, зависно од одабране методе испитивања. Један од параметара је оптерећење заваривања (*weld point*). То је најниже оптерећење контактних површина услед кога долази до заваривања. Други параметар је величина трага хабања. Код трибометара са четири куглице користи се и тзв. Load Wear Index - LWI, који представља индекс способности мазива да минимизира хабање при задатом оптерећењу. Трећи параметар који се користи при испитивању подношења екстремних притисака је ОК параметар (*OK value*) који се дефинише као максимална тежина тега којим може да се оптерети механизам за оптерећење пре него што дође до појаве контактнoг заваривања или задирања површина.

Ова испитивања се најчешће изводе из следећих разлога:

- одређивање зависности између отпорности на хабање и физичко - хемијских и механичких особина материјала у контакту са циљем производње материјала (елемената у контакту или мазива) са унапред задатим триболошким својствима,
- утврђивање законитости хабања материјала у функцији радних параметара (оптерећења, брзине клизања) као и радних услова (температуре, топографије и сл.),
- избор оптималних конструктивних и мазивих материјала и одређивање њихове међузависности.

### 3.3. Проблеми код избора мазива

Постоји неколико начина приступања проблему одабира типа мазива за одређени технички систем. Уобичајен начин је одабир оног типа мазива које се сматра нормалним за уређај или комбинацију уређаја који ће га користити. Овакав приступ ће бити успешан у већини случајева али може заказати ако су било који од захтева, брзина, оптерећење, температура итд., другачији од оних нормалних за дати технички систем, али чак и ако је могућ овакав начин одабира мазива то не мора значити да је то најбоље решење за одабрани проблем. Како би се уверили да је одабрани тип најбољи за примену, увиек је пожељно размотрити и алтернативе.

Један алтернативни приступ је дефинисати услове рада који се очекују применом система или компонената, и довести их у везу са могућностима различитих типова мазива. Ако је то добро обављено, овај приступ мора успети у одабиру типа мазива који је технички погодан, али то не значи да је најприкладнији или да ће бити дугорочно најјефтинији.

Трећи приступ је разматрати једноставност различитих алтернатива. Систем подмазивања никад не сме бити изведен комплексније него што је потребно да би исправно радио. Најједноставније технике често су најпоузданије и најјефтиније. Најједноставнији облик подмазивања садржи малу количину чистог минералног уља или масти. Тиме ће се задовољити бескрајан опсег система за подмазивање, од браве на вратима до сложенијих техничких система. До проблема ће доћи када брзина, оптерећење или температура постану превелики, када је очекивани животни век система предугачак или када мазиво постане контаминирано продуктима хабања и осталим нечистоћама. Када се ово деси почињу проблеми са одабиром мазива.

Различите компоненте имају и различите захтеве у погледу подмазивања. Преглед различитих компоненти којима требају различита својства мазива дат је у следећој табели.

**Табела 4.** Захтеви различитих компоненти [2]

| Својство мазива                                   | Рукавац | Куглични лежак | Затворени зупчаници | Отворени зупчаници |
|---------------------------------------------------|---------|----------------|---------------------|--------------------|
| 1. Гранично подмазивање                           | *       | *              | ***                 | ***                |
| 2. Хлађење                                        | **      | **             | ***                 |                    |
| 3. Трење                                          | *       | *              | **                  | **                 |
| 4. Способност задржавања у лежају                 | *       | **             |                     | ***                |
| 5. Способност заптивања                           |         | **             |                     | **                 |
| 6. Температурни распон                            | **      | **             | **                  | *                  |
| 7. Заштита од корозије                            | **      | **             | *                   | ***                |
| *** највећи значај, ** мањи значај, * мали значај |         |                |                     |                    |

Клизни лежаци се подмазују капљевитим мазивима, где је дебљина уљног филма довољно велика да потпуно одвоји клизне површине лежача, тако да је трење веома мало и не долази до хабања. Код великих брзина се преферира уље за подмазивање, јер омогућава мало трење и одводи толоту која настаје.

Куглични лежаци се углавном подмазују мастима. То је због тога што маст обезбеђује боље заптивање кућишта лежачева него уље. Тиме је спречен губитак мазива или улазак контаминената у зону контакта.

Затворени зупчаници се углавном подмазују уљима. Највише се користе минерална уља, али код већих брзина се морају користити адитиви за смањење вискозности и антиоксидацијски адитиви.

Код отворених зупчаника се такође користи уље за подмазивање, али је потребно обезбедити да уље не буде избачено услед великих брзина или наглих убрзања. Уља која се користе су вискозна и лепљива.

### 3.4. Транспорт и складиштење мазива

Током транспорта и складиштења мазива треба да буду испуњена најмање два темељна захтева [3]:

- осигурање услова који омогућавају одржавање квалитета мазива и
- осигурање свих захтева заштите животне средине.

Велике се количине мазивих уља складиште у резервоарима од челичног лима уз које морају бити базени способни за прихват читавог садржаја резервоара за случај његове хаварије ради спречавање продора уља у околину.

За пумпање већих количина мазивих уља унутар складишта и на местима употребе служе цевоводи са зупчастим или вијчаним пумпама. Ако је потребно транспортовати вискознија уља, инсталација се редовно треба опремати и уређајима за загревање (најчешће на 60°C, понекад и на 100°C), чиме се цео поступак транспортовања може битно олакшати [3].

На веће удаљености се веће количине мазивих уља транспортују железничким и аутомобилским цистернама, а преко мора танкерима. Мање количине мазивих уља и мазиве масти транспортују се у стандардним бурадима (200l) или у посудама различитих волумена.

Бурад са мазивима не смеју бити изложена могућности продора воде у унутрашњост. Тај нежељени процес може бити последица тзв. "дисања", због температурних промена околине. Зато се на отвореном простору бурад не смеју слагати усправно. Положени положај бачви осигурава да садржај прекрије улазни отвор. Покривена складишта знатно ће олакшати очување жељеног квалитета и мању изложеност ускладиштеног мазива деловању сунца и атмосфере.

Минерална мазива нису токсична, али могу деловати надражајно на људску кожу, слузокожу и посебно очи. При употреби мазива и сродних производа, корисник се мора придржавати следећих хигијенских заштитних мера, да би се избегла опасност за здравље [3]:

- избегавати директан додир с мазивима, нарочито коже и очију,
- обавезно користити заштитне рукавице и заштитно одело,
- користити заштитне наочаре или штитнике за очи, ако постоји опасност од прскања,
- носити средства заштите дисајних путева, ако је то прописано,
- не носити одећу натопљену уљем,

- не стављати зауљени алат или крпе у џепове, нарочито не у џепове панталона,
- не користити прљаве крпе за брисање уља са коже, јер металне честице на крпама могу повредити кожу, па то може довести до инфекције,
- са машине уклонити металне честице и брусни муљ,
- редовно прати руке сапуном или нешкодљивим средствима за скидање мазива са коже пре јела, пре и после коришћења WC-а, после рада, а након прања кожу намазати заштитном хранљивом кремом,
- не сме се користити растварач (петролеј, бензин, разређивач, итд.) за прање руку,
- треба предузети мере да концентрација уљне магле у ваздуху не пређе 5 mg/m<sup>3</sup>.

Неки адитиви и синтетичка мазива могу бити, већ према своме хемијском саставу, више или мање штетна по здравље. Њихово разливање може штетно деловати на земљиште и подземне воде. Кад доспеју до воде, делом се задржавају на њој као лакши површински слој, а мањим делом растварају.

У присуству кисеоника неки микроорганизми могу деловати разграђујуће на минерална мазива, али тај је процес код квалитетних мазива спор.

У неким ситуацијама треба водити бригу и о опасности од пожара. Наиме, мазива који имају тачку паљења до 100°C сматрају се запаљивим течностима (у складу са Правилником о запаљивим течностима, Н.Н. 54/99) и морају се складиштити у складу са законским прописима [3]. У случају пожара, прикладна средства за гашење су пена, суви прах и CO<sub>2</sub> који се користи за гашење само у затвореним просторима. Не сме се користити водени млаз јер се њиме може проширити пожар. Мањи пожари могу се гасити песком или земљом, ако нема прикладног средства. У простору складишта није дозвољен рад са отвореним пламеном и морају бити истакнута упозорења у вези са опасношћу од пожара.

#### 4. Литијумска мазива

Развој литијумских масти почео је још пре Другог светског рата. Њихова производња је веома једноставна. Тренутни производи литијумских мазива могу се поделити на оне који користе 12 - хидроксистеарат и оне који користе радикале органских киселина.

У литијумска мазива спадају мазиве масти које користе сапунске угушћиваче. Угушћивачи су супстанце које током производње мазиве масти, под одређеним условима, стварају у уљу структуре међусобно испреплетаних влакана, формирајући сунђерасту структуру, и тако претварају уље у мазиву маст. Сапуни за себе вежу од 80 - 95% базног уља. У сапунске угушћиваче спадају калцијумови, литијумови, натријумови, баријумови, алуминијумови и други сапуни.

У сапунским мазивим мастима метални сапун се састоји од масних киселина неутрализованих металом као што су литијум, калцијум, алуминијум, натријум, баријум и сл.

Литијумске масти се добијају реакцијом литијум хидроксида, у облику прашка или воденог раствора, са 12 - хидрокси стеаринском киселином или њеним глицеридима у минералним или синтетичким уљима. Да ли ће се користити киселина или њен глицерид зависи од захтева везаних за трошкове и перформансе. Литијумске масти имају добре карактеристике као што су висока тачка капања, добра водоотпорност и добра смицајна стабилност.

Дисперзија литијум 12 - хидроксистеарата се дешава на температури од 93°C, док већина осталих литијумских сапуна захтевају температуре у распону од 204°C и више. Велике разлике у структури влакана и карактеристикама мазива су резултат коришћења сапуна добијених из једињења органских киселина.

Након дисперзије сапуна, литијумске масти се хладе на различите начине. Могу бити пресуте у плитке посуде где се хладе, али чешће се користе методе хлађења у којима се користи хлађење ваздухом помоћу хладњака, или споро хлађење мешањем у котлу. Спорим хлађењем, са или без мешања, формирају се дугачка влакна, повећава се механичка стабилност и способност капања. Брзо хлађење доприноси стварању финих влакана која имају лошу механичку стабилност али добро везују уље за себе. Да би маст била идеална треба да садржи и једна и друга влакна, како би имала и добру механичку стабилност и способност капања. Млевање је завршна прерада мазива где се добија глатка и компактна структура коју мазиво треба да задржи током свог радног века.

Литијумске масти се користе као вишенамenske масти које одговарају аутомобилским и индустријским захтевима. Висококвалитетни производи немају никакве озбиљне недостатке, осим приликом коришћења код екстремних температура, брзине, оптерећења и притисака. Одлично су се показали приликом подмазивања

рукаваца и антифрикционих лежајева, и користе се често и код котрљајних лежајева. Мана им је та што због своје структуре не могу имати одговарајућу адхезиону моћ тако да се не могу користити код клизних и клипних уређаја.

Литијумове мазиве масти, због својих добрих карактеристика, имају веома широко подручје примене. Познате су као вишенаменске или универзалне масти. Поседују добру механичку стабилност, високу тачку капања, добра нискотемпературска својства, добру отпорност на дејство воде и врло добро подносе високе притиске. Температурско подручје примене литијумових масти је од 25 до 125 °C [10].



**Слика 14.** Литијумско мазиво

Мазиво је зелене боје (слика 14.). Литијумске масти се најчешће користе за подмазивање клизних и котрљајних лежајева који су изложени повећаном броју обртаја и других машинских склопова моторних возила, транспортних средстава, пољопривредне и грађевинске механизације и сл. Примењују се и код разних индустријских постројења и уређаја који су изложени повећаним радним притисцима, ударима и вибрацијама. Посебно су погодни за употребу код централних система подмазивања [10].

У складу са Правилником, овај производ се не може класификовати као опасан. Оригиначне посуде држати затворене када нису у употреби. Складиштити производ у хладној и сувој просторији, даље од утицаја агресивних материја.

Вишеструку примену литијумских мазивих масти обезбеђују следеће карактеристике [10]:

- хемијска и механичко-динамичка стабилност,
- отпорност на деловање воде,
- заштита од корозије,
- добра мазива својства,

- добре реолошке особине,
- дуг век трајања.

Неке од литијумских мазива:

**ЛИТМА ЕР** се користи код склопова за пренос снаге изложених високим радним притисцима и ударним оптерећењима. Развијен је програм литијумових масти са ЕР (*extreme pressure*) адитивима, комерцијалног назива ЛИТМА ЕР. Вибрације су посебна специфичност у разарању мазивог слоја спрегнутих површина и настајања тзв. вибрационе корозије (*fretting*). Мазиве масти ЛИТМА ЕР поседују изванредну чврстоћу и носивост мазивог филма, веома ниске коефицијенте трења и добра својства течења у системима са централним подмазивањем. [10]

**ЛИТМА 1** се препоручује за подмазивање клизних површина изложених већем броју обртаја (лежајеви електромотора) и за системе са централним подмазивањем. [10]

**ЛИТМА 2** је незаменљива по универзалним карактеристикама за сва подмазивања код аутомобила, индустријске и пољопривредне механизације. [10]

**ЛИТМА 3** се препоручује за подмазивање клизних и котрљајућих лежајева већих димензија. [10]

## 5. Био мазива

Пораст еколошке свести потекао је из истраживања сировина обновљивих извора и у индустрији мазива. Због све веће потрошње разних врста мазива, која су углавном минералне и синтетичке сировинске основе, долази до све већег али и неизбежног доспећа мазива у околину. Због тога биолошки лако разградива мазива произведена из природних уља и масти добијају на све већој важности, уколико је њихова примена могућа.

Био мазива (био базно уље + адитиви) делимично су алтернатива петрохемијским производима. Њихова виша цена ограничава употребу и на еколошки осетљивим подручјима, у чију земљу и воду доспевају мазива петрохемијске основе.

Својства мазива прилагођених околини су [11]:

- брза биолошка разградљивост,
- ниски степен загађења вода,
- слаба топлјивост у води,
- нештетност или ниска токсичност,
- адитиви без тешких метала,
- незапаљивост,
- ниска испарљивост и
- примена природних сировина - естарска уља, репичино уље, сојино уље, животињска уља и сл.

Биолошка разградња је могућа када су испуњени следећи услови [11]:

- присуство микроорганизама,
- присуство кисеоника за дисање микроорганизама,
- присуство азота и фосфорних једињења за исхрану микроорганизама,
- одговарајућа температура, јер се биолошка разградња брже одвија у топлој средини,
- мазиво не сме бити загађено материјама које убијају микроорганизме или их чине неефикасним.

Био мазиве масти су биоразградиве мазиве масти које задовољавају најновије еколошке захтеве који се односе на биоразградивост и употребу сировина произведених од обновљивих извора. Као базна уља користе се или биљна уља (природни естри) или биоразградљиви синтетички естри. Примењује се за подмазивање путне и рударске механизације и свих осталих места где мазиво директно долази у додир са околином и где постоји могућност да се мазиво расипа по тлу. Веома су погодна за подмазивање точкова шинских возила [10].

Уља биљног порекла (репичино, маслиново, рицинусово, сунцокретово и сл.) су триглицериди - естри глицерина и незасићених виших масних киселина. Репичино уље

се користи за производњу хидрауличких мазива и мазива за подмазивање ланаца моторних тестера, користи се као базно уље за производњу моторних уља и мазива за зупчасте преноснике.

Када се користи као хидраулични флуид у хидрауличним системима морају се узети у обзир следећа ограничења [11]:

- краћи интервали замене у односу на минерално уље због слабије оксидационе стабилности,
- не може се користити на температурама испод  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- радна температура уља је  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , максимално до  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Разни синтетички естри су биолошки брзо разградиви и у тестовима дају сличне брзине разградње као и репичино уље. Уз то они показују боље резултате што се тиче оксидације и течљивости на ниским температурама. Могу се мешати са минералним уљима. Користе се за производњу хидрауличних уља и масти, уља за двотактне бензинске моторе (пре свега ванбродске моторе) као и за уља за дизел моторе за употребу у еколошки осетљивим подручјима.

Ако се користе као хидраулична мазива [11]:

- могуће је продужење интервала замене у односу на уља на бази рафината,
- могућа је употреба до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- дозвољена трајна температура уља је до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Густина полигликола већа је од  $1\text{g/cm}^3$ . Делимично су растворљиви у води и биолошки су брзо разградиви. Брзо продиру кроз земљиште до подземних вода, што им је негативна особина. Полигликоли се не могу мешати са осталим производима. Пре употребе мора се проверити њихова подношљивост са лаковима (често растварају лакове и фарбу) и материјалима од којих су направљени филтри и заптивке. Не препоручују се за склопове код којих у додир долазе челик и алуминијум.



Слика 15. Био мазиво

Биолошки брзо разградиви производи се морају контролисано сакупљати и одлагати као и нафтни производи и не смеју се једноставно просипати или неконтролисано одлагати. Морају се складиштити одвојено од нафтних продуката и испоручивати организацијама које врше спаљивање коришћених уља.

У складу са Правилником, овај производ се не може класификовати као опасан. Оригиналне посуде држати затворене када нису у употреби. Складиштити производ у хладној и сувој просторији, даље од утицаја агресивних материја. Мазиво је натурал боје (слика 15.).

Природна уља представљају адекватну замену за конвенционална мазива, посебно у еколошки осетљивим областима као што су пољопривреда, шумарство и рударство, јер они имају ниску токсичност, висока биоразградивост, низак коефицијент трења и отпорност на хабање, и смањују храпавост површине. Међутим, природни триглицериди имају неколико недостатака, укључујући и ниску тачку паљења, и лошу топлотну стабилност. У принципу је широко познато да атоми водоника у  $\beta$  - угљеничним атомима фрагмената алкохола, у молекулу етра, доводе до недовољне оксидационе и термичке стабилности. Присуство атома водоника изазива појаву корозије, коју производи киселина и алкени, и, самим тим, повећава вискозитет и киселост. Ови проблеми могу бити решени само делимично, додавањем адитива. Стога, биљно уље мора да буде хемијски модификовано како би се спречила оксидација и прекинуло образовање кристала при ниским температурама.

У следећој табели приказано је поређење мазива у односу на то да ли садрже базна уља минералног или природног порекла.

**Табела 5.** Поређење својстава мазива у односу на порекло базног уља [11]

| Мазиво                                        | Базно уље минералног порекла |                | Базно уље природног порекла                    |                      |
|-----------------------------------------------|------------------------------|----------------|------------------------------------------------|----------------------|
|                                               | Минерална уља                | Синтетичка уља | Синтетичка уља на основи природних уља и масти | Природна уља и масти |
| Спречава хабање                               | *                            | **             | **                                             | **                   |
| Подмазивање                                   | *                            | **             | **                                             | **                   |
| Стабилност                                    | *                            | **             | **                                             | ***                  |
| Токсичност                                    | ***                          | *              | *                                              | **                   |
| Биолошка разградња                            | ****                         | *              | *                                              | **                   |
| Штедња фосилних извора                        | ****                         | ****           | *                                              | **                   |
| Цена, еуро/л                                  | 1                            | 5              | 5                                              | 3                    |
| * добро, ** одлично, ***лоше, **** веома лоше |                              |                |                                                |                      |

Верује се да природни триглицериди могу да побољшају способност подмазивања, као што могу и да обезбеде ефективан граничан слој, због присуства поларне структуре која распршује неполарне молекуле основног мазива, и може да делује као антихабајући адитив и модификатор трења за комерцијална минерална уља.

У великом броју истраживања је утврђено да отпорност на оксидацију и термичка стабилност могу бити побољшане заменом глицерина алкохолом, који не садржи  $\beta$ -водоничне атоме.

Неке од био мазива:

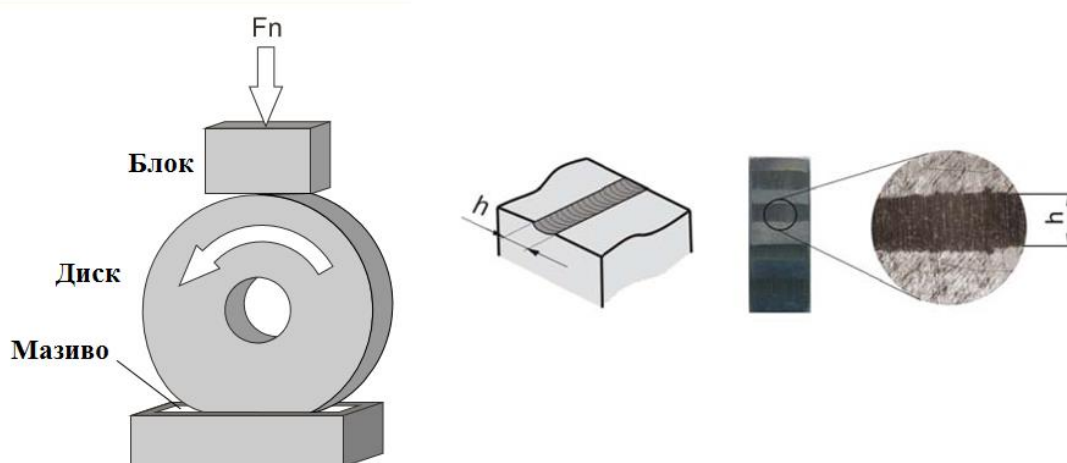
**БИО-МАСТ 2** је биоразградива мазива маст произведена од специјалних базних уља и посебно одабраног пакета адитива. Употребљене сировине обезбеђују потпуну биоразградивост, добру хемијску и колоидну стабилност, добра нискотемпературна својства као и изванредну УВ стабилност. Примењује се за подмазивање шина железничких пруга у кривинама, покретних делова железничких скретница, ски - лифтова и сл [10].

**БИО-МАСТ 000** је биоразградива мазива маст произведена од специјалних базних уља и посебно одабраног пакета адитива. Употребљене сировине обезбеђују потпуну биоразградивост, добру хемијску и колоидну стабилност, добра нискотемпературна својства као и изванредну УВ стабилност [10].

**БИО-МАСТ 000 Г** је биоразградива мазива маст произведена од специјалних базних уља и посебно одабраног пакета адитива. Употребљене сировине обезбеђују потпуну биоразградивост, добру хемијску и колоидну стабилност, добра нискотемпературна својства као и изванредну УВ стабилност [10].

## 6. Експериментални део

У овом делу рада је дат преглед резултата испитивања био и литијумских мазива и упоређивање њихових триболошких карактеристика. Испитивање је извршено на трибометру, на собној температури. Коришћена је метода тзв. "block on disc" контактне геометрије, према стандарду ASTM G 77 за мерење коефицијента трења. Брзина диска је 0.5 m/s. Рађена су по три испитивања за свако мазиво са променама нормалне силе од 100 N, 200 N и 300 N.



Слика 16. Контактна геометрија "block on disc" [12]

Након испитивања на трибометру је извршено мерење ширине трага хабања на универзалном микроскопу, и направљене су слике трагова хабања и мазива на металуршком микроскопу.

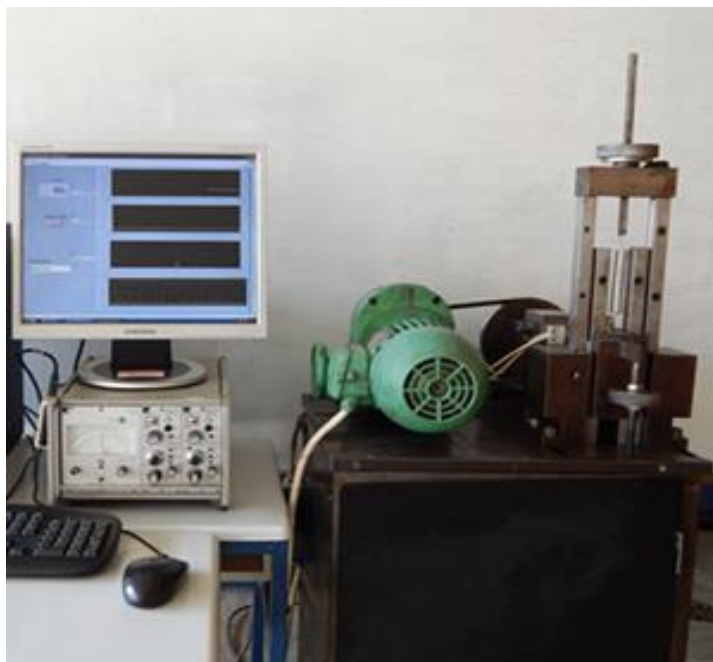
Услови испитивања [12]:

- Стандард: ASTM G 77
- Геометрија контакта: Block on Disc
- Материјал блока: 42CrMo4
- Површина блока:  $R_a=0.24 \mu\text{m}$
- Материјал диска: 42CrMo4
- Површина диска:  $R_a=0.18 \mu\text{m}$
- Нормална сила: 100 N, 200 N, 300 N
- Брзина клизања: 0.5 m/s
- Време контакта: 3600 s

## 6.1. Мерна опрема

### Трибометар TDP - 95

Компјутерски подржан Трибометар TDP - 95 намењен за триболошка испитивања - одређивање силе и коефицијента трења за одговарајуће контактне услове (нормално оптерећење и брзину клизања) према ASTM G77 стандарду.



Слика 17. Трибометар TDP - 95 [12]

Испитивања се могу вршити у условима са подмазивањем и без подмазивања [12].



Слика 18. Диск у кадици са мазивом (лево), носач блока (десно) [12]

Карактеристике приказаног трибометра и параметри су:

- Контактна геометрија: Block on Disk;
- Нормална сила: 0-500 N;

- Брзина клизања: 0.2-2.5 m/s;
- Димензије блока:  $b_b=6.35\text{ mm}$ ;  $l_b=15.75\text{ mm}$ ;  $h_b=10.16\text{ mm}$ ;
- Димензије диска:  $D_d=35\text{ mm}$  и  $b_d=6.35\text{ mm}$ .

### Универзални мерни микроскоп UIM-21

Универзални мерни микроскоп UIM-21 намењен је за мерење дужина, углова, параметара спољашњих и унутрашњих завојница, контролу алата, објеката сложене конфигурације, мерење трагова хабања.



Слика 19. Универзални мерни микроскоп [12]

### Микроскоп МТ-8530

*Meiji Techno's* металуршки микроскоп МТ8500 са Plan EPI BD оптиком која обезбеђује изузетно светлу и оштру слику са добрим контрастом боја.



Слика 20. Микроскоп МТ-8530 [12]

Карактеристике [12]:

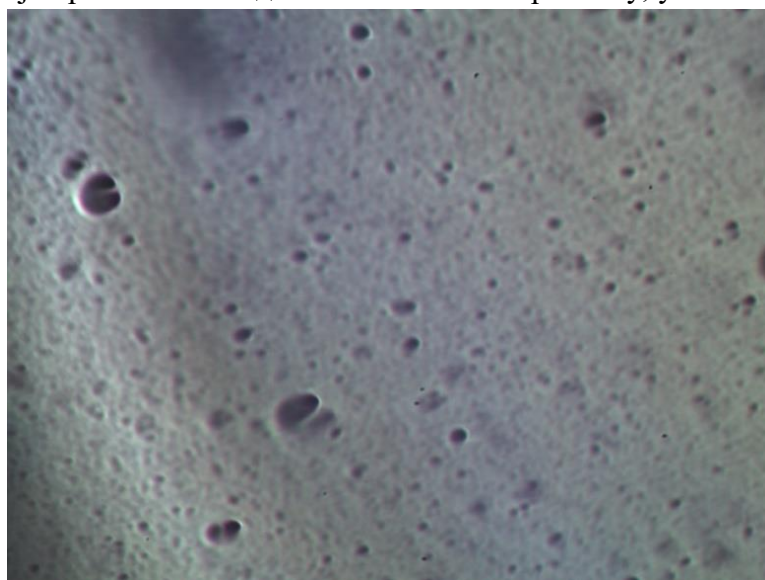
- прецизно померање радног стола у X, Y и Z правцу (ход 23 mm),
- CCD color TV камера,
- компјутерски подржан.

## 6.2. Резултати и анализа резултата мерења

Испитивањем мазива се може приметити да мазива имају различиту структуру, боју и мирис. Литијумско мазиво је вискозније, зелене боје и има пријатнији мирис од био мазива. Такође, мазива су показала и различите триболошке карактеристике, што се може видети у даљем тексту.

### Био мазиво

На слици 21. је приказан изглед био мазива на микроскопу, увећан 10х.



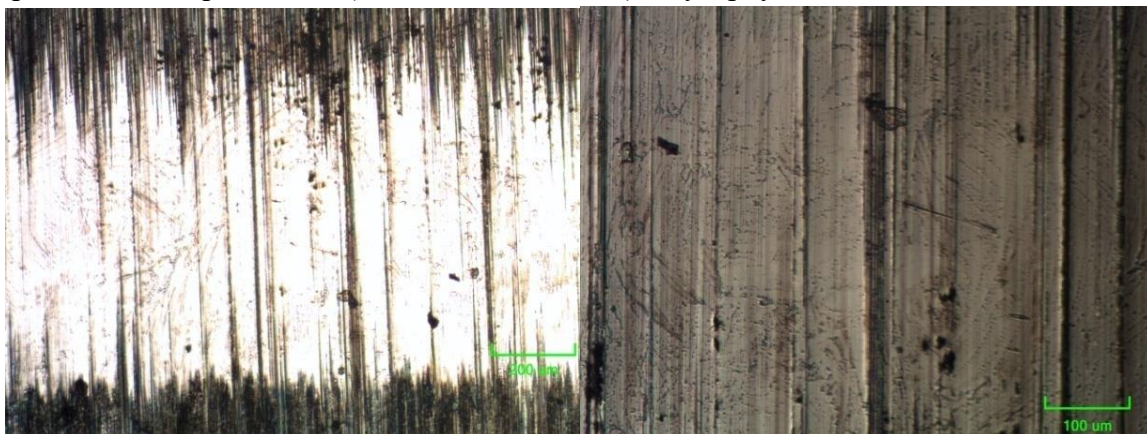
Слика 21. Изглед био мазива увећан 10х

У следећим табелама су дате вредности ширина трага хабања које су добијене мерењем за сва три оптерећења прилоком коришћења био мазива. Ширина трага хабања је измерена на три места.

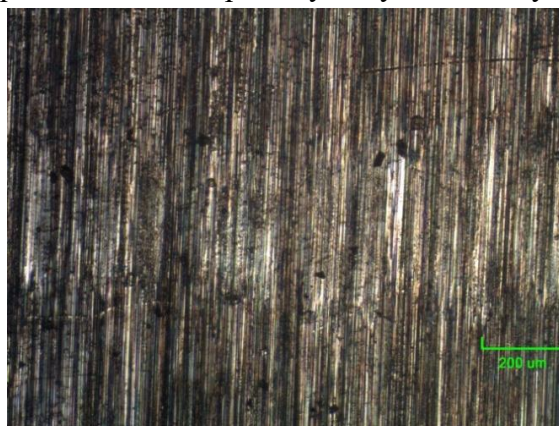
| I траг хабања - 100N  | $d_1, mm$ | $d_2, mm$ | $d =  d_1 - d_2 , mm$ |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------------------|
| I мерење              | 7,123     | 8,398     | 1,275                 |
| II мерење             | 7,226     | 8,436     | 1,21                  |
| III мерење            | 7,357     | 8,54      | 1,183                 |
| II траг хабања - 200N | $d_1, mm$ | $d_2, mm$ | $d =  d_1 - d_2 , mm$ |
| I мерење              | 8,996     | 9,696     | 0,7                   |
| II мерење             | 8,876     | 9,573     | 0,697                 |
| III мерење            | 8,792     | 9,417     | 0,625                 |

| III траг хабања -300N | $d_1, mm$ | $d_2, mm$ | $d= d_1 - d_2 , mm$ |
|-----------------------|-----------|-----------|---------------------|
| I мерење              | 11,953    | 12,394    | 0,441               |
| II мерење             | 12,046    | 12,542    | 0,496               |
| III мерење            | 12,175    | 12,572    | 0,397               |

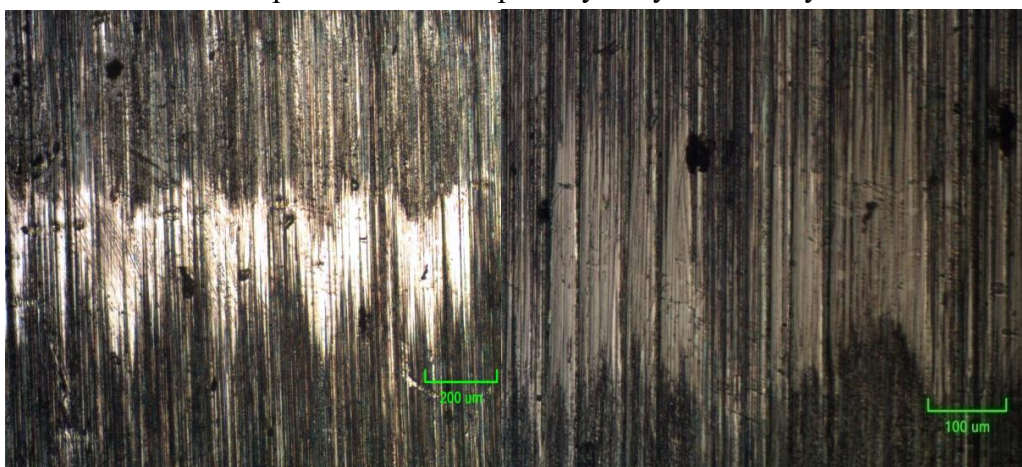
На следећим сликама су приказани трагови хабања настали различитим нормалним оптерећењима (100 N, 200 N, 300 N) на узорку подмазаном био мазивом.



Слика 22. Траг хабања за нормалну силу од 100 N увећан 5x и 10x

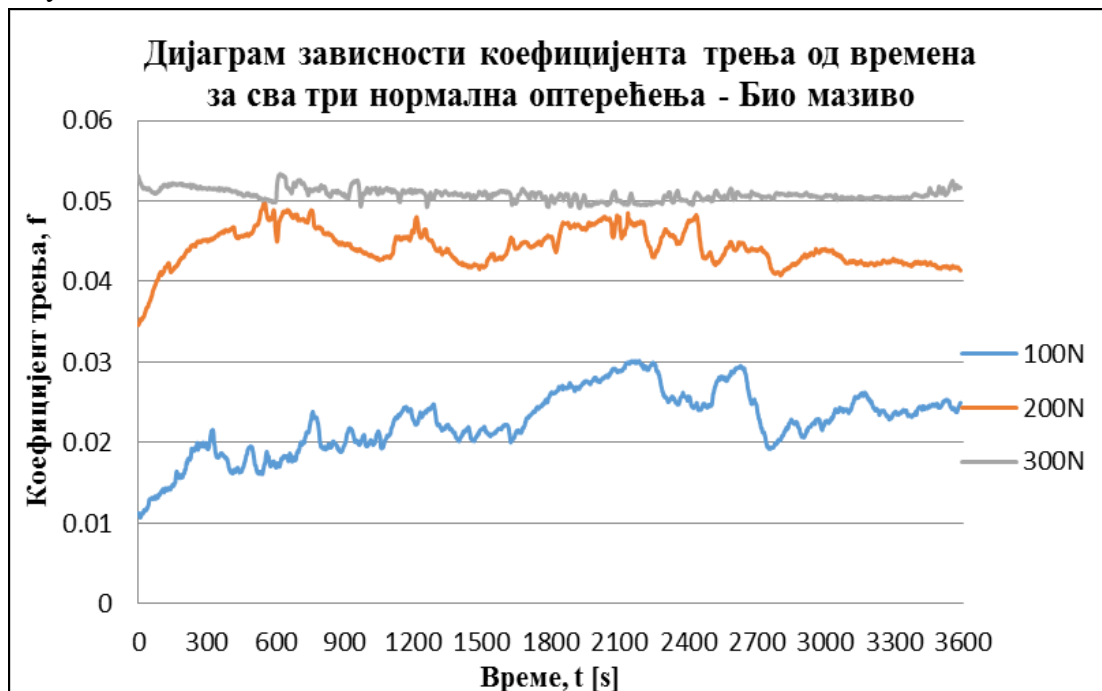


Слика 23. Траг хабања за нормалну силу од 200 N увећан 5x



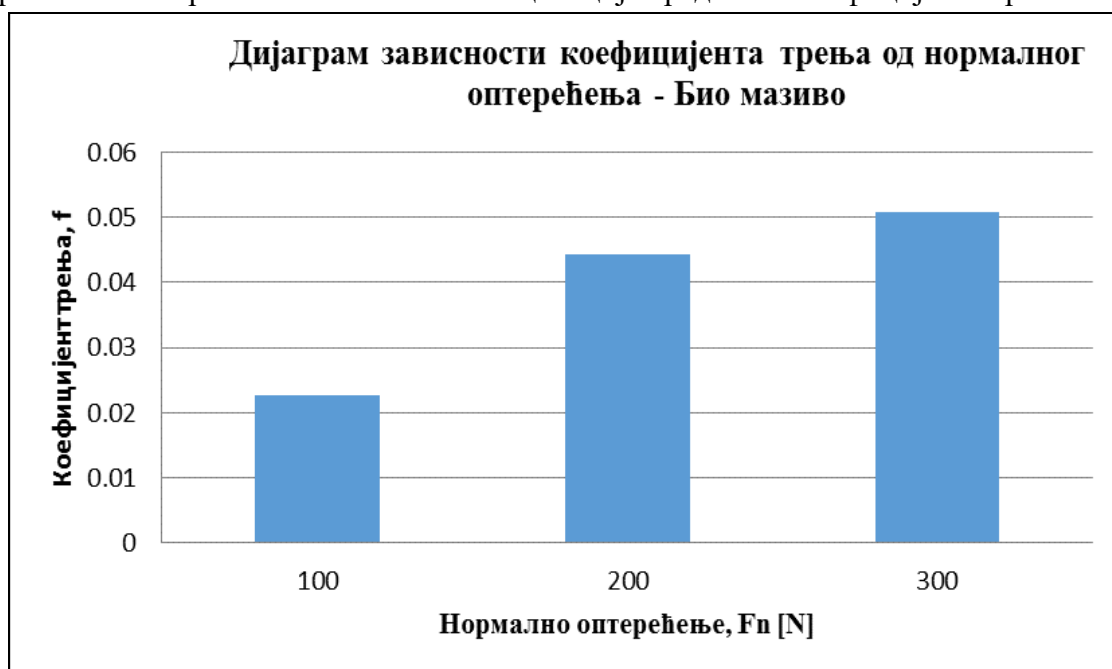
Слика 24. Траг хабања за нормалну силу од 300 N увећан 5x и 10x

Може се уочити да се код био мазива ширина трага хабања смањује са порастом оптерећења. Ово мазиво је погодније за рад при већим оптерећењима када је хабање у питању.



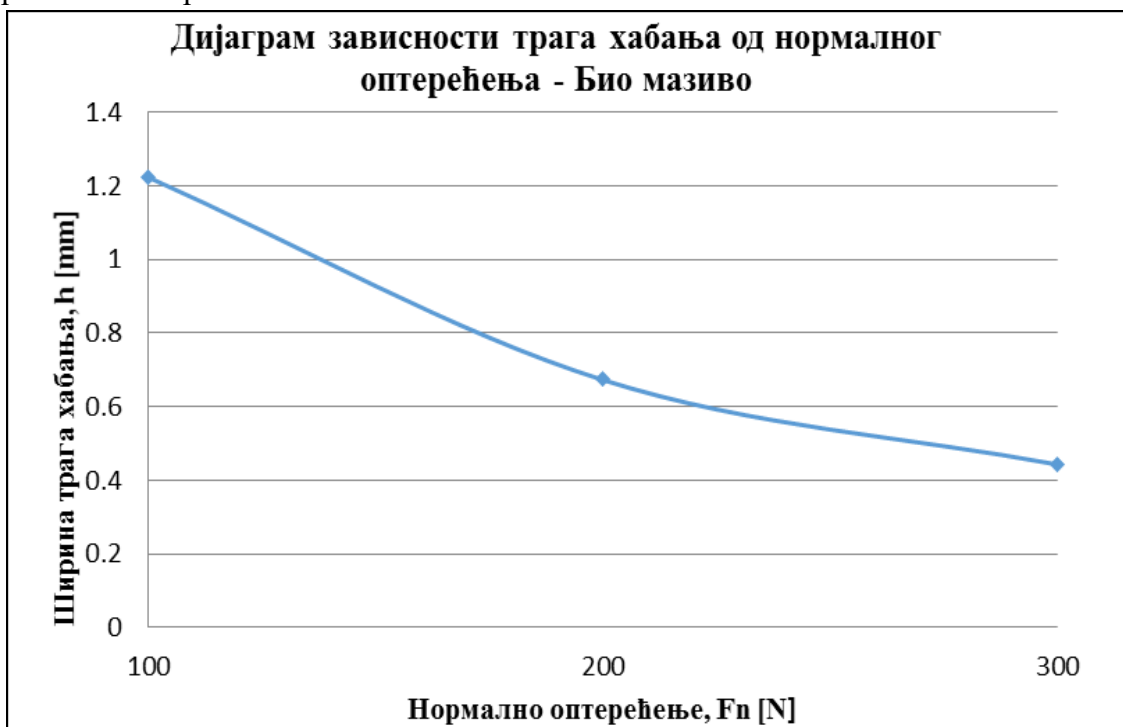
**Дијаграм 1.** Зависност коефицијента трења од времена за сва три нормална оптерећења

Дијаграм 1. приказује поређење коефицијента трења у зависности од нормалног оптерећења за био мазиво. Коефицијент трења је најмањи при раду са најмањим нормалним оптерећењем. Нема већих осцилација вредности коефицијента трења.



**Дијаграм 2.** Зависност коефицијента трења од нормалног оптерећења

На дијаграму 2. може се уочити да коефицијент трења расте са порастом нормалног оптерећења.

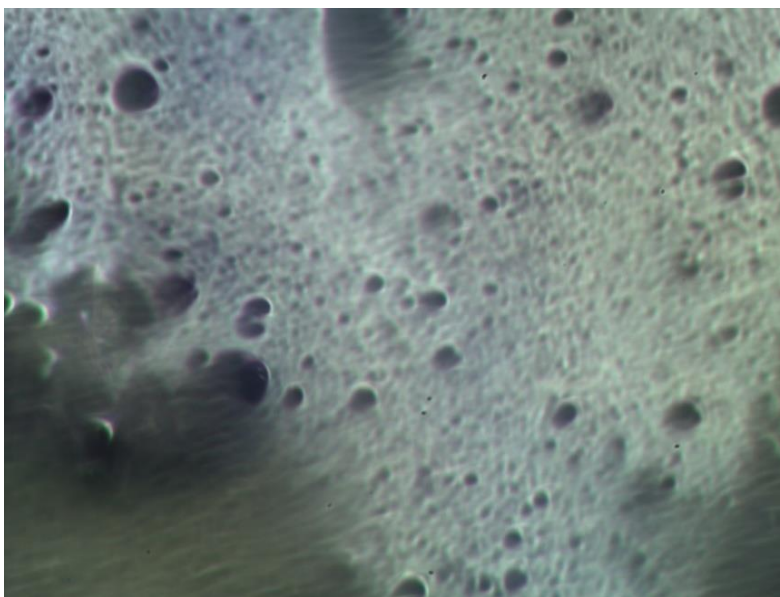


**Дијаграм 3.** Зависност ширине трага хабања од нормалног оптерећења

На дијаграму 3. може се уочити се ширина трага хабања смањује са повећањем нормалног оптерећења. Ширина трага хабања је више од двоструко мања при оптерећењу од 300 N него при оптерећењу од 100 N.

#### **Литијумско мазиво**

На слици 25. је приказан изглед литијумског мазива на микроскопу, увећан 10х.



**Слика 25.** Изглед литијумског мазива увећан 10х

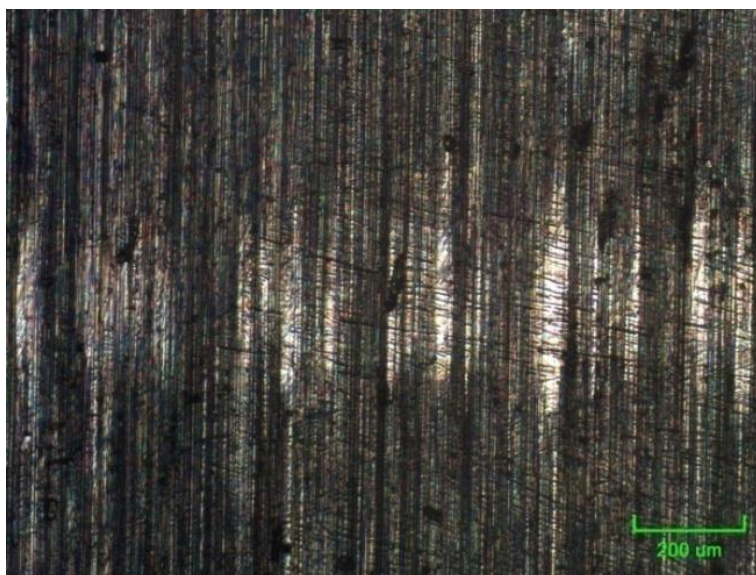
У следећим табелама су приказане вредности ширина трага хабања које су добијене мерењем за сва три оптерећења приликом коришћења литијумског мазива. Ширина трага хабања је измерена на три места.

| I траг хабања- 100N | $d_1, mm$ | $d_2, mm$ | $d =  d_1 - d_2 , mm$ |
|---------------------|-----------|-----------|-----------------------|
| I мерење            | 8,237     | 8,799     | 0,562                 |
| II мерење           | 8,548     | 8,908     | 0,36                  |
| III мерење          | 8,788     | 9,068     | 0,28                  |

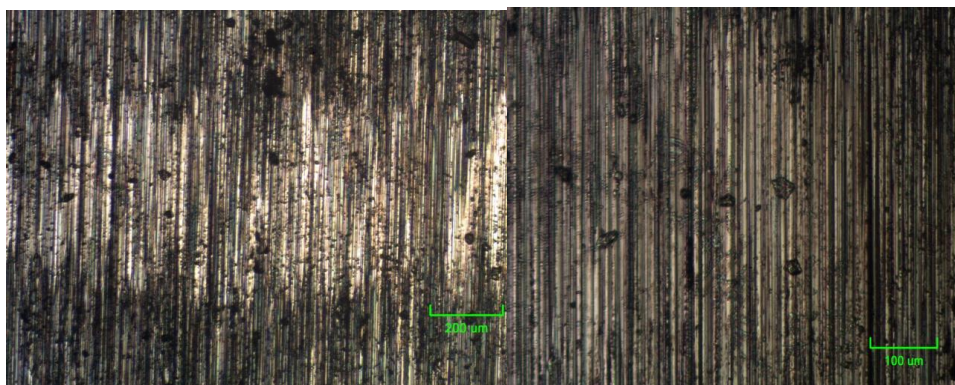
| II траг хабања- 200N | $d_1, mm$ | $d_2, mm$ | $d =  d_1 - d_2 , mm$ |
|----------------------|-----------|-----------|-----------------------|
| I мерење             | 4,982     | 5,509     | 0,527                 |
| II мерење            | 5,353     | 5,859     | 0,506                 |
| III мерење           | 5,652     | 6,165     | 0,513                 |

| III траг хабања- 300N | $d_1, mm$ | $d_2, mm$ | $d =  d_1 - d_2 , mm$ |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------------------|
| I мерење              | 7,315     | 8,003     | 0,688                 |
| II мерење             | 7,514     | 8,186     | 0,672                 |
| III мерење            | 8,165     | 8,786     | 0,621                 |

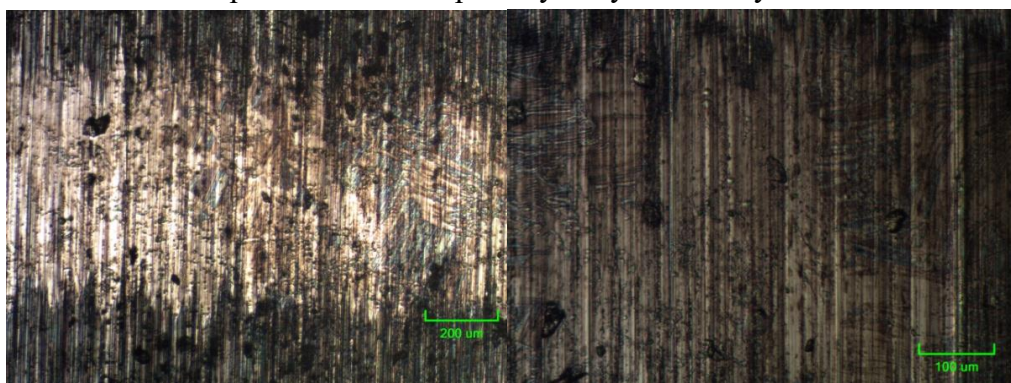
На следећим сликама је приказан траг хабања где је коришћено литијумско мазиво као подмазујуће средство.



**Слика 26.** Траг хабања за нормалну силу од 100N увећан 5х

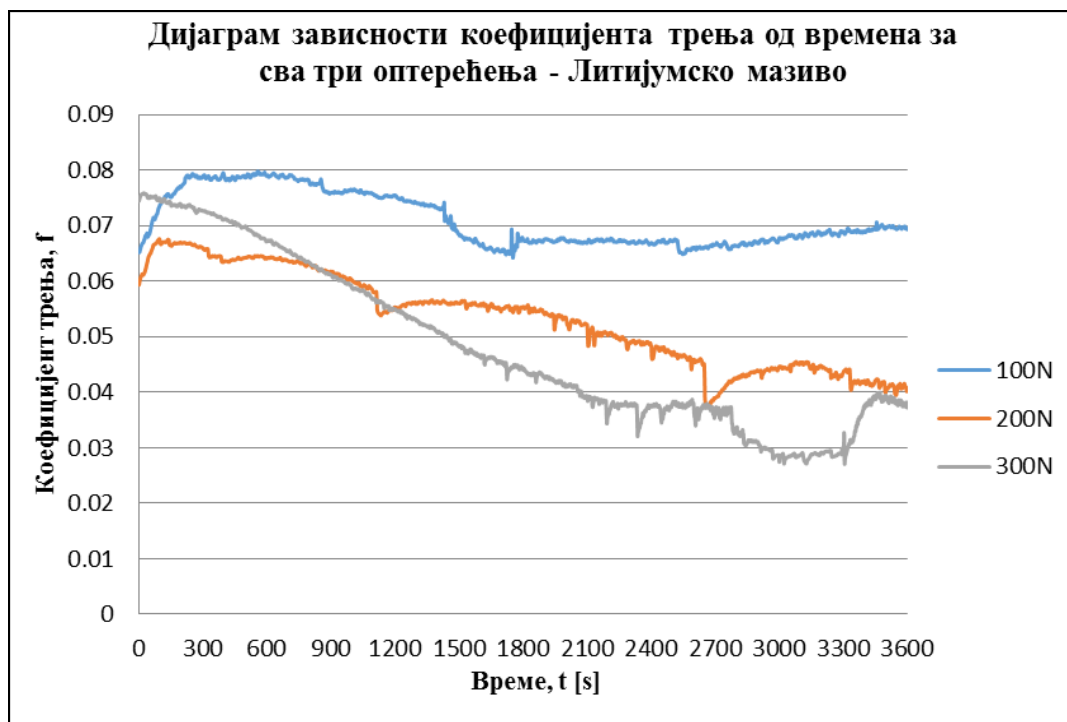


Слика 27. Траг хабања за нормалну силу од 200N увећан 5x и 10x



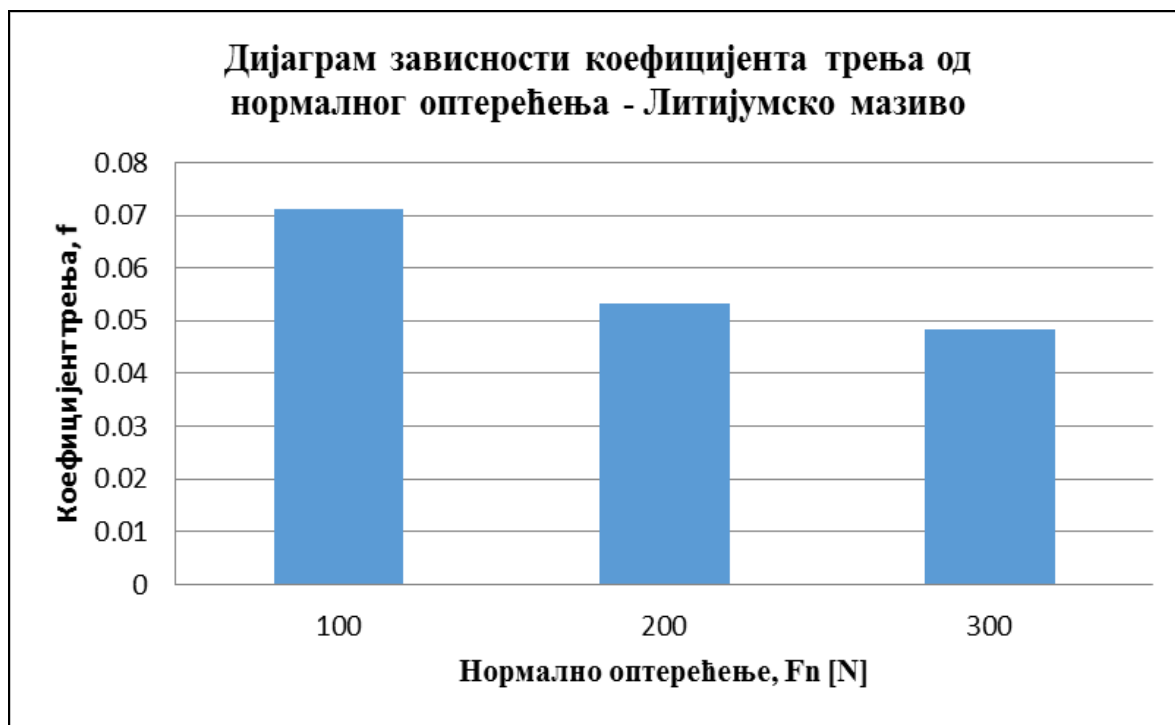
Слика 28. Траг хабања за нормалну силу од 300N увећан 5x и 10x

На дијаграмима 4. и 5. се може уочити да коефицијент трења код литијумског мазива опада са порастом нормалног оптерећења.



Дијаграм 4. Зависност коефицијента трења од времена за сва три нормална оптерећења

За вредности нормалног оптерећења 100 N и 200 N имамо мање осцилације коефицијента трења него код оптерећења од 300 N.



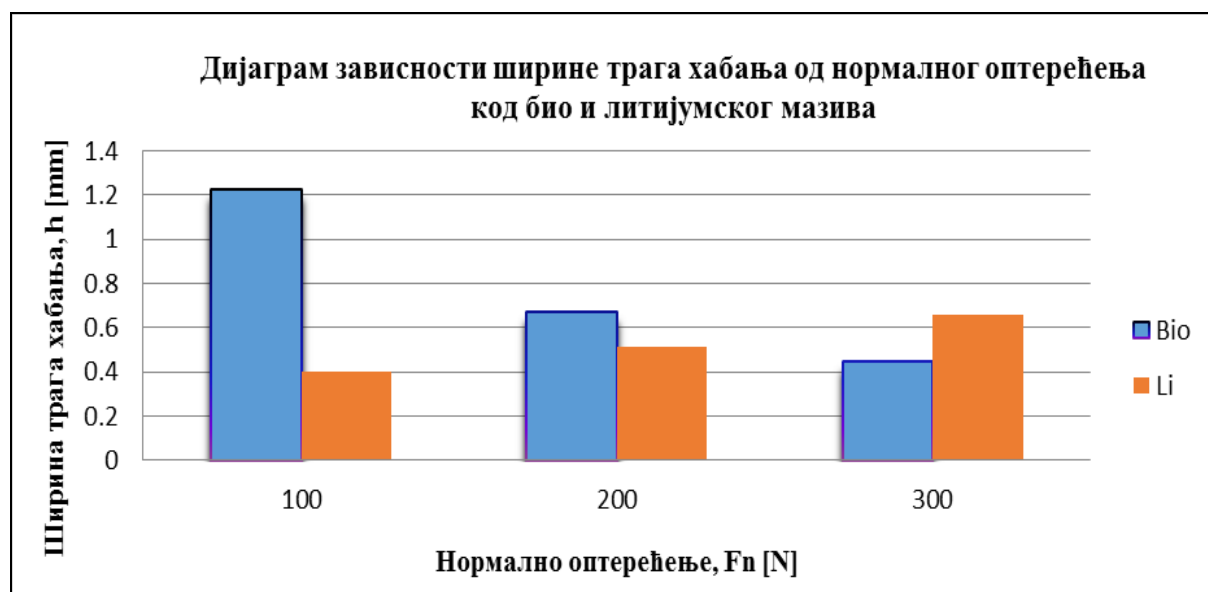
**Дијаграм 5.** Зависност коефицијента трења од нормалног оптерећења

Ширина трага хабања се повећава са порастом нормалног оптерећења (дијаграм 6.).



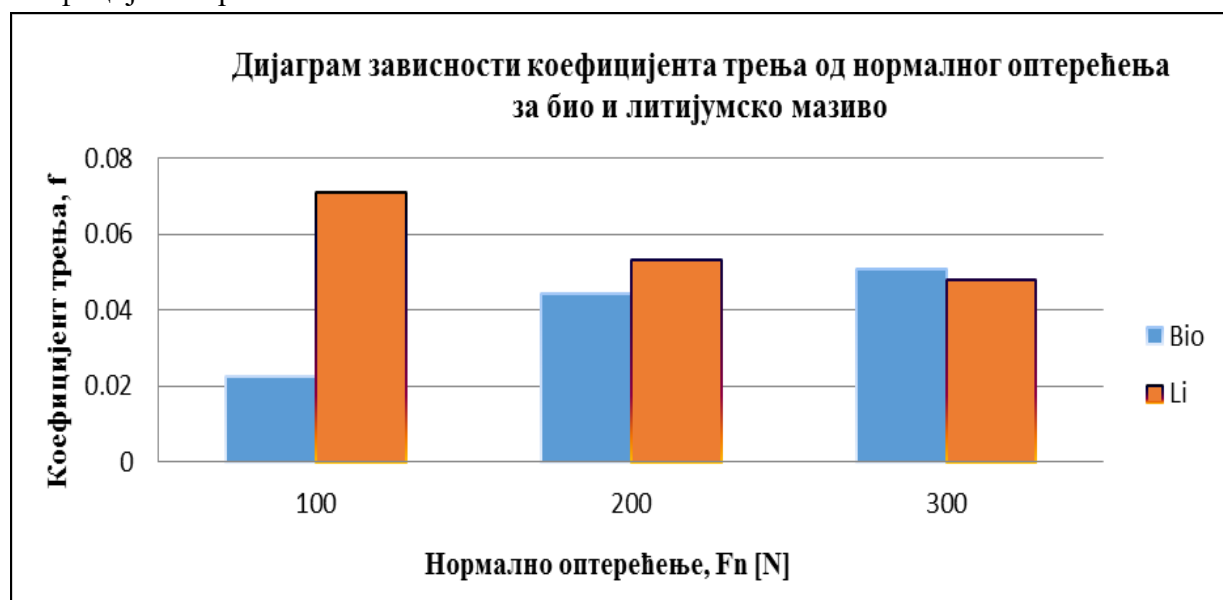
**Дијаграм 6.** Зависност ширине трага хабања од нормалног оптерећења

На дијаграму 7. је приказано поређење ширине трага хабања насталих код оба мазива.



**Дијаграм 7.** Зависност ширине трага хабања од нормалног оптерећења код био и литијумског мазива

Испитивањем је показано да литијумско мазиво показује боље особине при мањим оптерећењима (100 N и 200 N), док при већим оптерећењима мањи траг хабања је добијен код био мазива. На дијаграму 8. је дато поређење оба мазива на основу коефицијента трења.



**Дијаграм 8.** Зависност коефицијента трења од нормалног оптерећења за био и литијумско мазиво

При нижим оптерећењима је коефицијент трења много мањи код био мазива у односу на литијумско, док је при већем оптерећењу литијумско мазиво показало мало боље особине.

## 7. Закључак

У складу са сваком променом конструкције и функције, конструктори су тражили побољшање квалитетног нивоа мазивих уља и све дужи интервал употребе, уз смањење запремине уља у самом механичком систему. Упркос неким противуречним захтевима конструктора, развој нових технологија омогућио је производњу одговарајућих адитива и базних уља, а тиме и производњу тражених мазива. Тај паралелни развој механичких система и мазива наставља се и данас. У трци захтева конструктора механичких система и развоја производње нових генерација мазива, створен је веома широк асортиман ових триболошких средстава. То је условило потребу за одређеним спецификацијама и класификацијама, како по вискозности тако и по областима примене и радним особинама, које представљају својеврсни језик за споразумевање на релацији конструктори и произвођачи механичких система, произвођачи мазива, трговина и корисници.

Нажалост, о мазивима се зна врло мало, па се често купују према комерцијалном називу, а не према прописаном квалитету, што има негативан утицај на рад и век трајања механичких система. Мазива су конструкциони елемент и због тога је важно детаљније упознати њихов састав, начин деловања као и њихова својства. Ако се ова проблематика не познаје довољно или се не посвети довољна пажња, последице су врло чести откази и застоји, а осим тога и велика оштећења механичких система. О значају примене мазива говори податак да је више од 40 % механичких отказа узроковано неправилним подмазивањем, односно, неправилним одабиром мазива. Потрошачи су у све већој дилеми приликом избора и примене мазива. Цена, на жалост, врло често је одлучујући фактор приликом избора мазива, што има за последицу оштећења на механичким системима, врло честе отказе и застоје, а све то утиче на повећање трошкова одржавања. Мазива су неопходан конструктивни фактор и због тога је важно упознати њихов састав, особине, као и њихову улогу.

Био мазива као биоразградиве мазиве масти, произведене од специјалних базних уља, обезбеђују потпуну биоразградивост, добру хемијску стабилност, добра нискотемпературна својства као и изванредну УВ стабилност. Испитивања су показала да су боља него литијумска када је у питању ширина трага хабања и веће оптерећење, што их чини погоднијим за примену при великим оптерећењима, али се у тим условима јавља веће трење.

Литијумска мазива имају широку примену у аутомобилској индустрији. Имају одличну хемијску и механичку стабилност, добра мазива својства, дуг век трајања и отпорност на деловање воде. Испитивања су показала да се приликом коришћења литијумског мазива коефицијент трења смањује са порастом оптерећења.

Након испитивања утврђено је да и био и литијумска мазива имају одређене предности и мане:

- Код био мазива ширина трага хабања се смањује са порастом оптерећења и креће се у интервалу од 0.4 mm до 1.2 mm, док код литијумског расте и креће се од 0.4 mm до 0.7 mm.
- Код био мазива коефицијент трења расте са порастом оптерећења, креће се у интервалу од 0.02 до 0.05. Код литијумског мазива вредност коефицијента трења опада са порастом оптерећења и креће се у интервалу од 0.04 до 0.07.
- Код био мазива нема већих осцилација вредности коефицијента трења, само при оптерећењу од 100N. Исто се дешава и код литијумског, осим што је већи пад коефицијента трења за оптерећење од 300N.
- Био мазиво је током испитивања имало непријатан и јак мирис, док се мирис код литијумског мазива није осећао током испитивања.

На основу тога може се закључити да литијумско мазиво показује боље особине при већим оптерећењима што се тиче коефицијента трења. Насупрот томе, био мазиво показује боље особине што се тиче отпорности на хабање. Такође осцилације при нижим оптерећењима су прихватљивије.

## 8. Литература

- [1] Бабић М., *Мониторинг уља за подмазивање*, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 2004.
- [2] Цигић И., Завршни рад, Факултет стројства и бродоградње, Свеучилиште у Загребу, 2013.
- [3] Шиљић Ђ., Стојковић В., Микулић Д., *Горива и мазива*, Велеучилиште Велика Горица, 2012.
- [4] <http://moodle.mfkg.rs/course/view.php?id=79> приступљено 09.03.2017
- [5] <http://nptel.ac.in/courses/112102015/3> приступљено 19.03.2017
- [6] [http://www.marinediesels.info/2\\_stroke\\_engine\\_parts/Other\\_info/hydrodynamic\\_lubrication.htm](http://www.marinediesels.info/2_stroke_engine_parts/Other_info/hydrodynamic_lubrication.htm) приступљено 19.03.2017
- [7] <http://evolution.skf.com/using-a-friction-model-as-an-engineering-tool-3/> приступљено 27.03.2017
- [8] <http://nptel.ac.in/courses/116102012/bearings/lubrication%20in%20bush%20bearings.html> приступљено 15.04.2017
- [9] Грилец К., Ивушић И., *Трибологија*, Факултет стројства и бродоградње завод за материјале, Свеучилиште у Загребу, Загреб 2011.
- [10] <http://modricaoil.com/proizvodi/mazive-masti/> приступљено 19.04.2017
- [11] Петран Ј., Педишић Љ., Орловић М., Подолски Ш., Брдач В., *Биомазива из природних отпадних уља и масти*, Загреб 2008.
- [12] <http://ct.fink.rs/oprema.html> приступљено 28.05.2017