

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Механички преносници

Број индекса: 71/2004

Ана М. Јоксимовић

**Класификација уља и мазива код механичких
преносника
дипломски рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Мирко Благојевић, доцент-ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да изврши класификацију уља и мазива према различитим критеријумима. Поред тога треба да прикаже основне теорије подмазивања. На основу доступне литературе потребно је да представи техничку регулативу и стандарде у области мазива. Када је реч о механичким преносницима кандидат треба да опише специфичности њиховог рада са аспекта подмазивања, да изврши избор и класификацију уља и мазива за механичке преноснике.

Препоручена литература:

- [1] Tanasijević S., *Mehanički prenosnici*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1994
- [2] Tanasijević S., *Osnovi tribologije maš. elemenata*, Naučna knjiga, Kragujevac 1989
- [3] Rac, A., *Maziva i podmazivanje mašina*, Mašinski fakultet Beograd, 2007.

Крагујевац, 2012.

ментор:

Др. Мирко Благојевић, доцен - ментор

Резиме: Појам мазива подразумева гасовите, течне и чврсте материјале који се користе за смањење трења између спрегнутих радних површина које се налазе у релативном кретању.

Избор врсте и карактеристика мазива зависи од врсте зупчаника, радних брзина и оптерећења, температуре околине и поступка подмазивања. Оптимално мазиво за сваку посматрану апликацију зупчастог пара је оно које обезбеђује мало хабање и ниске радне температуре, а тиме и дуг век рада преносника.

Abstract: The term includes lubricants gaseous, liquid and solid materials that are used to reduce friction between the composite work surfaces that are in relative motion.

The choice of the type and characteristics of lubricants depends on the type of gear, operating speeds and loads, temperature and lubrication procedure. Optimum lubricant for any given application, the gear pair is the one that provides low wear and low operating temperature, long life time and work gear.

САДРЖАЈ

1. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ КОРИШЋЕЊА МАЗИВА	7
2. ОПШТА ПОДЕЛА МАЗИВА	9
2.1. Подела мазива према функцији	9
2.2. Подела мазива према пореклу и саставу	9
2.3. Подела мазива према намени	10
2.4. Подела мазива према агрегатном стању	11
2.4.1. Гасовита мазива	11
2.4.2. Течна мазива – Мазива уља	12
2.4.3. Полутечна мазива – Мазиве масти	17
2.4.4. Чврста мазива	18
3. ПОБОЉШАЊЕ СВОЈСТАВА МАЗИВА	23
3.1. Адитиви	23
3.2. Угушћивачи	26
4. АНАЛИТИКА МАЗИВА	28
5. ТЕОРИЈА ПОДМАЗИВАЊА	35
5.1. Дефиниција, видови и врсте подмазивања	35
5.2. Хидростатичко подмазивање	37
5.3. Хидродинамичко подмазивање (ХДП)	38
5.4. Еластохидродинамичко подмазивање (ЕХДП)	39
5.5. Гранично подмазивање (ГП)	41
6. ТЕХНИЧКА РЕГУЛАТИВА	43
6.1. Стандарди и означавање мазива	43
6.1.1. Општа класификација течних и полутечних мазива	44
7. ПОДМАЗИВАЊЕ МЕХАНИЧКИХ ПРЕНОСНИКА	48
7.1. Зупчасти преносници	48
7.1.1. Избор мазива и подмазивање зупчастих парова	50

Класификација уља и мазива код механичких преносника

7.1.2. Уља за механичке зупчасте преноснике	51
7.1.3. Индустијски зупчasti преносници.....	52
7.1.4. Избор уља за затворене зупчасте преноснике	53
7.1.5. ISO подела и спецификације мазива за индустријске зупчасте преноснике.....	54
7.1.6. Основне карактеристике мазива за подмазивање зубаца зупчаника	57
7.2. Ланчани преносници.....	57
7.3. Кардански преносници	60
7.4. Избор мазива за подмазивање механичких преносника према важећим стандардима..	62
8. ЗАКЉУЧАК.....	66
ЛИТЕРАТУРА.....	67

1. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ КОРИШЋЕЊА МАЗИВА

Мазива су материје које се користе за смањење трења и хабања између покретних делова машина које су у контакту. Мазива стварају заштитни филм који омогућава да додирне површине буду одвојене, чиме се смањује трење између њих и сразмерно смањује топлотну енергију у машини чиме задржава радну температуру унутар безбедних пословних ограничења. Хабање делова је значајно смањено што резултира мањим кваровима, већом корисношћу машине, нижим трошковима одржавања и дужим веком трајања.

Забележена употреба мазива датира скоро од рођења цивилизације, древни записи датирају још из 19. века п.н.е. Један од најранијих примера употребе мазива је у превозу огромних споменика у древном Египту. Сцена на слици 1.1. приказује монолитну статую високу око 6,81 *m* и тешку око 60 *t* коју вуку 172 мушкарца распоређена на четири конопца уз људе који истовремено подмазују навоз како би се повлачење наставило [23]. Човек на предњој саоници сипа течност из посуде на стази испред њега, то би могло да буде биљно уље или чак и обична вода, од чега би се смањило трење. Касније су људи користили животињске масти за подмазивање осовина и точкова на кочијама. Из тих најранијих корена напори да се смањи трење зависили су од масноће животиња и поврћа на бази уља. Ови проналасци, иако веома једноставни у природи, су значајни за даљи развој и употребу мазива.



Слика 1.1. Превоз египатске статуе

Током средњег века, 450.год. - 1450.год. је био стабилан развој у коришћењу мазива све до 1600.год. - 1850.год. (посебно за време индустријске револуције 1750.-1850.) када је вредност мазива у смањењу трења и хабања призната.

Едвин Дрејк буши први извор нафте 27.августа 1859.године у Titusville, у Америци обележавајући рођење нафтне индустрије, а његов добар публицитет нафтног извора ствара нови начин да обезбеди вероватно врхунски производ нафте што је убрзало кретање ка коришћењу минералних уља.

У почетку нафта на бази уља није прихваћена јер није деловала као масти животињског порекла. Сiroва нафта није направила добро мазиво, али како је потражња за аутомобилима расла тако је расла и потражња за бољим мазивима. Убрзо су произвођачи научили да сирова нафта даје најбоља средства за подмазивање.

Произвођачи мазива су 1920.год. започели обраду базних уља да побољшају перформансе. До 1923. год. *Society of Automotive Engineers* класификовало је моторна уља по вискозности на лака, средња и тешка. Моторно уље није садржало адитиве и морало је бити замењено на сваких 800-1000 миља.

Отприлике 1930.год. прерада се појавила као одржива технологија за побољшање перформанси базе уља. Адитиви су почели да се користе 1947.год. када је API (Амерички нафтни институт) почела да дели моторна уља по јачини на обична, премиум и тешка. Адитиви су коришћени да продуже век трајања само у премиум и тешким уљима.

1950.године уведена су висококвалитетна уља која побољшавају топле и хладне перформансе уља. За неколико деценија индустрија мазива наставила је да се ослања на технологију адитива за побољшање перформанси готових уља. Квалитет мазива знатно је побољшан када су хемијски додаци усавршени. Савремена мазива су формулисана од врхунских основних течности и напредних хемијских адитива. Основна течност има неколико функција, првенствено то је уље које обезбеђује течни слој који раздваја површине или смањује топлоту и уклања честице хабања смањујући трење на минимум. Многа својства мазива су побољшана или креирана додавањем специјалних хемијских адитива за базне течности.

Данас мазива играју веома важну улогу у раду без невоља било ког аутомобила или индустријске опреме [24].

За подмазивање механичких система и њихових елемената данас се користе мазива различитих карактеристика, што је условљено задацима које она морају да испуне у одређеним конструкцијама при различитим условима рада и условима околине.

Правилно изабрано мазиво и одговарајући поступак подмазивања повећавају век машинама, смањују трошкове њиховог рада и одржавања. Ови ефекти се исказују смањењем потрошње енергије, нижим радним температурама и мањим бројем застоја [1] .

2. ОПШТА ПОДЕЛА МАЗИВА

Велики број фамилија мазива, категорија производа и самих врста производа у оквиру сваке категорије захтева, у циљу лакшег избора и сагледавања основних својстава мазива, одређене класификације. Подела мазива може да се изврши на основу више критеријума. Уобичајено се мазива деле према функцији, агрегатном стању, саставу и/или пореклу и намени.

2.1. Подела мазива према функцији

Према функцији разликују се две основне групе [2]:

1. Конструкциона мазива која се посматрају као елемент конструкције машина. Избор мазива се врши приликом пројектовања машине или уређаја истовремено са избором осталих материјала и других параметара делова изложених трењу и хабању.

2. Технолошка мазива која се примењују при обради метала резањем и деформисањем са циљем подмазивања и хлађења алата и материјала који се обрађује. При томе се технолошка мазива посматрају као елемент усвојеног технолошког процеса и њихов избор се врши при дефинисању самог процеса.

2.2. Подела мазива према пореклу и саставу

По свом пореклу и саставу мазива могу бити различита.

Течна мазива у односу на порекло и састав чине три врсте течности:

-уља минералног порекла - уља добијена прерадом нафте односно њених деривата,

-синтетичка мазива и

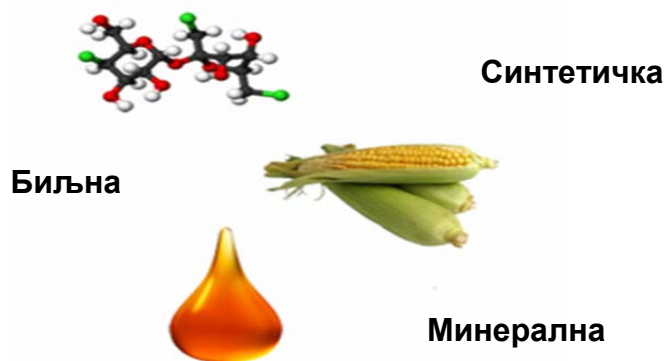
-уља биљног, и у мањем обиму, животињског порекла. (сл.2.1.)

Полутечна мазива представљају данас претежно различите категорије техничких масти. Она могу бити сложеног састава и израђена од материјала различитог порекла.

Последњу групу чине чврста мазива која уопштено могу бити органског и неорганског порекла и веома различитог састава.

Веома се често користе и комбинације основних група и категорија мазива [3]. Минерална уља се могу мешати са уљима биљног порекла и тада се она називају замашћена уља. Минералним и синтетичким уљима се могу додавати друга једињења, у циљу побољшања одређених својстава, и тада се она називају легирана уља. У употреби

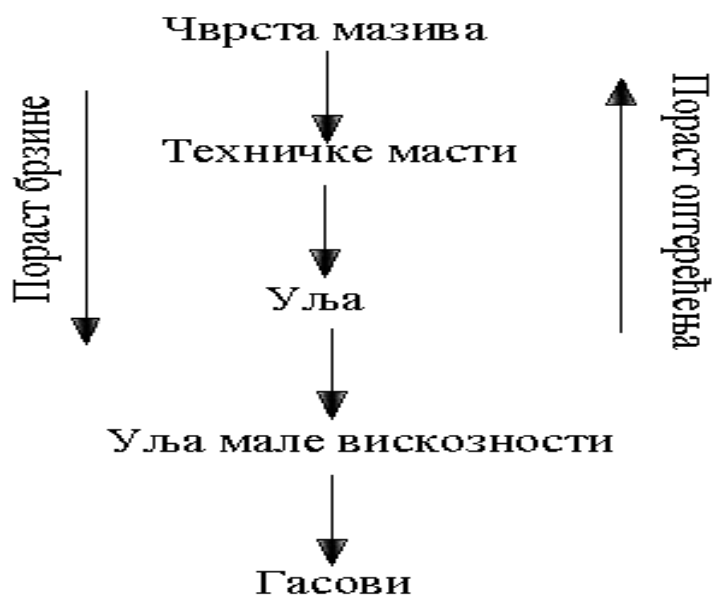
су и емулзије, мешавина минералних и синтетичких уља и воде, и суспензије које се добијају ако се чврста мазива додају уљу и води.



Слика 2.1. Врсте уља

2.3.Подела мазива према намени

Избор мазива према намени је везан за радне услове, услове експлоатације, захтевани век трајања и поузданост система. Уобичајено се разматрају фактори брзина и оптерећење.



Слика 2.2. Утицај брзине и оптерећења на избор врсте мазива

2.4. Подела мазива према агрегатном стању

Према агрегатном стању мазива се деле на:

- гасовита,
- течна,
- полутечна и
- чврста. (таб.2.1.)

Састав	Агрегатно стање			
	Гасовита	Течна	Полутечна	Чврста
	Ваздух	Минерална уља	Масти сапунске основе	Ламеларне структуре
	Азот	Синтетичка уља и течности	Масти несапунске основе	Полимерни материјали
	Хелијум	Уља биљног и жив. порекла	Масти без згушћивача	Меки метали
	Угљендиоксид		Битуменска мазива, вазелини	Керамички материјали

Табела 2.1. Општа подела мазива према агрегатном стању и саставу

2.4.1. Гасовита мазива

Гасовита мазива се због својих специфичности користе за посебне и специфичне услове.

Од гасовитих мазива најчешће је у употреби чист ваздух, поред њега користе се и други гасови као што су азот, кисеоник, водоник, угљендиоксид, хелијум, аргон.

Употреба гасова као мазива могућа је у широком температурском опсегу за разлику од течних и полутечних мазива код којих постоје знатна ограничења. Гасови поседују хемијску и термичку стабилност и не мењају агрегатно стање у широком температурском интервалу. Разликују од течности и по својој компресибилности и нижој вискозности. Погодни су за велике брзине, чистоћа уређаја у којима се користе је изузетна. Недостаци употребе гасова као мазива су мала моћ ношења, сложеност конструкције, неопходност високе тачности израде делова и осетљивост на нечистоће.

Гасовита мазива се примењују претежно при подмазивању клизних лежаја (аеродинамички и аеростатички лежаји) [4], код зубарских бушилаца, брусилаца, код контролних и мерних инструмената, турбокомпресора, компјутера и других елемената углавном посебне намене.

2.4.2. Течна мазива – Мазива уља

Најширу примену у пракси имају течна и полутечна мазива тј. мазива уља и мазиве масти.

Течна мазива представљају највише и најшире коришћену групу мазива и чине преко 90% свих мазива у употреби. Она обухватају различите течности, претежно уља, па се због тога називају и уља за подмазивање. Примењују се за подмазивање елемената и механизма код мотора и моторних возила, пумпи, турбина, генератора, зупчастих преносника, хидрауличких система, компресора, при обради метала резањем и деформисањем и код других механичких система.

Уља за подмазивање састоје се од основног или базног уља и различитих додатака које називамо једним именом адитиви.

БАЗНА УЉА + АДТИВИ = МАЗИВА УЉА

У односу на порекло и начин добијања, данас се користе три врсте основних (базних) уља: минерална базна уља, синтетичка базна уља и течности и базна уља биљног порекла.

Минерална базна уља

Минерална базна уља добијају се из нафте и састоје се од различитих парафинских и нафтенских угљоводоника са мањим уделом аромата. Састав нафте и поступци прераде одређују својства минералних базних уља. У новије време називају их још и конвенционалним. Састоје се од угљоводоника - једињења угљеника (C) и водоника (H). Молекулске масе им се крећу у распону C20 – C35. Њихове структуре и остале особине зависе од природе и карактеристика сирове нафте из које се добијају али и од даљих – секундарних или каталитичких поступака дораде.

Прерадом парафинских нафти добијају се минерална базна уља парафинске основе. Користе се за производњу моторних, трансмисионих, редукторских, хидрауличних и компресорских уља.

Доминантни конституенти ових базних уља су сложени или хибридни угљоводоници. Њихови молекули су изграђене од нормалних (линеарних) парафина, изопарафина и циклопарафина. Добре особине су им: високе тачке паљења, висока оксидациона и термичка стабилност, високи индекси вискозности.

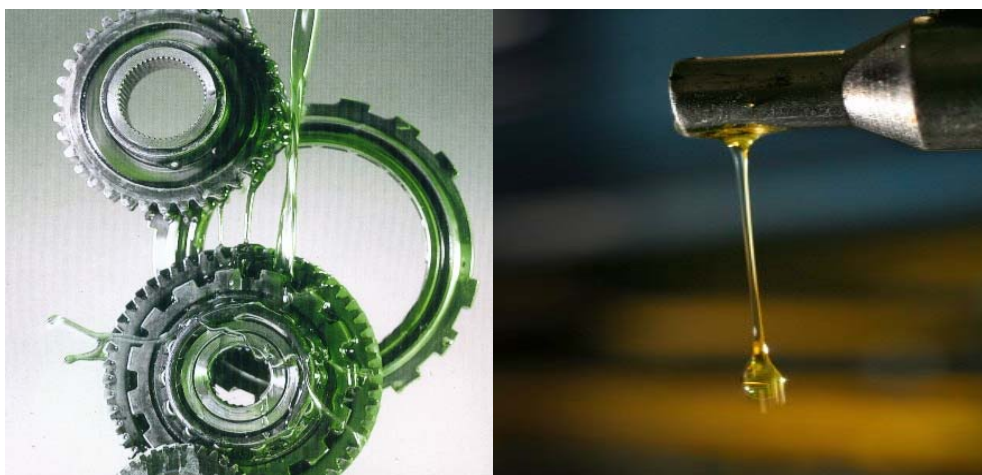
Индекс вискозности је емпиријски број, без димензија, који означава величину промене вискозности неког уља с променом температуре. Висок индекс вискозности значи релативно малу промену вискозности с променом температуре, док низак индекс вискозности показује велику промену вискозности с променом температуре. Индекс вискозности уља одређује се мерењем кинематичке вискозности на 40°C и 100°C, а употребом посебних таблица долази се до одговарајућег броја. Зависно од дубине рафинације, вредност индекса вискозности може бити висока (95-100), врло висока (до 120) и ултра висока (до 140). Од лошијих особина истичу се високе тачке течења, али се оне побољшавају поступком депарафинације и адитивима.

Прерадом нафтенских нафти добијају се минерална базна уља код којих су доминантни конституенти циклопарафини или нафтени. Добра особина им је ниска тачка течења, а непожељне су знатно нижа оксидациона стабилност и ниски индекси

Класификација уља и мазива код механичких преносника

вискозности. Због тога се нафтенска базна уља могу користити само за производњу трафо уља и уља за механичку обраду метала. Добре особине су им високе тачке паљења, висока оксидациона и термичка стабилност, високи индекси вискозности. Од лошијих особина истичу се високе тачке течења, али се оне побољшавају поступком депарафинације и адитивима.

Рерафинисана базна уља добијају се прерадом коришћених мазивих уља. Она се остварује у неколико фаза: прве су таложење и филтрација, затим следе атмосферска и вакуум дестилација и, на крају, рерафинација добијених дестилата – најчешће је то обрада водоником. Као секундарна сировина могу се користити само коришћена моторна, трансмисиона, хидраулична и компресорска уља која се производе искључиво од минералних базних уља парафинске основе. Коришћена уља за обраду метала, трафо уље и синтетичка мазива уља, нису погодне секундарне сировине за рерафинацију. Она се након одређене обраде обично користе као индустријско гориво и то у специјалним пећима (цигланама или цементарама) уз потпуну контролу сагоревања и хемијског састава димних гасова. Рерафинисана базна уља користе се за производњу свих врста мазивих уља и масти.



Слика 2.3. Минерална базна уља

Синтетичка базна уља

Синтетичка базна уља производе се хемијском синтезом из различитих компонената различитим технолошким поступцима. У новије време називају их неконвенционалним базним уљима.

За разлику од минералних уља, која представљају сложене мешавине угљоводоника различитих молекулских маса, структура и особина, синтетичка базна уља су угљоводоници или њихове смеше угљоводоника тачно дефинисаних молекулских маса и структура који одређују потребне особине: оксидациону и термичку стабилност, испарљивост, вискозно-температурске особине, температуре паљења и течења итд. Због поштрених захтева произвођача модерних механичких система за побољшањем перформанси мазива, синтетичка и полусинтетичка мазива добијају све већи значај. Удео синтетичких мазива у потрошњи је више од 10% , са годишњом стопом раста потражње од 10 - 15%.

Разлог овакве експанзије синтетичких мазива се може објаснити предностима синтетичких мазива над минералним у смислу више оксидацине стабилности, више термичке стабилности, вишег индекса вискозности, ниже испарљивости, ниже тачке течења, више температуре паљења, биодеградабилности, нетоксичности, дужег века у експлоатацији, односно мањих трошкова одржавања. Главна препрека за интензивнијим развојем је висока цена производње синтетичких мазива. Међутим, разлика између цене синтетичких и минералних уља се временом смањује, што ће у наредном периоду повећати експанзију производње и примене синтетичких мазива.

Потрошња моторног уља огледа се, у првом реду, испаравањем које је много мање код синтетичког (7% – 8%) него код минералног уља (13% - 15%). Осим тога, синтетичко уље ствара мање талоба у мотору у односу на минерално и на тај начин мотор остаје чистији и дуготрајнији. Недостаци су им високе цене и релативно лошија растворљивост конвенционалних адитива. У новије време синтетичка базна уља се све више користе за производњу најновијих верзија моторних уља, неких специјалних мазива и радних флуида, а према захтевима конструктора модерних возила и индустријских система.

Синтетичка мазива се првенствено користе тамо где се проблем подмазивања не може успешно решити мазивом минералног порекла, где то захтева спецификација произвођача механичког система и где трошкови производње или експлоатације могу поднети високу цену синтетичког мазива.



Слика 2.3. Синтетичка базна уља

Производи се више врста и варијаната синтетичких мазива, најважније су:

1. Синтетички угљоводоници. То су чисти угљоводоници добијени из сировина произведених из нафте. Најчешће су у употреби полиалфаолефини (РАО), алкил аромати и полибутени. Прва два се користе у производњи моторних уља, као уља за хидрауличке системе, уља за подмазивање компресора за хлађење и гасних турбина, зупчастих преносника, посебно пужних редуктора [5], [6]. Полибутени се употребљавају као изолациона уља и за производњу мазива која се користе при обради метала деформисањем. Имају повољне нискотемпературне карактеристике, висок индекс вискозности и задовољавајућу хидролитичку способност.

2. Органски етри. Чине важну врсту основних синтетичких уља. Сировина за производњу синтетичких естра су алкохоли и масне киселине [7]. Изузетно су биоразградиви и имају малу екотоксичност. Користе се за производњу уља за подмазивање млазних и турбо елиптичних мотора, компресора као и за производњу хидрауличних течности.

3. Фосфатни естри. Имају добра мазива својства и нискотемпературне карактеристике, отпорни су на пламен. Примењују се у производњи тешко запаљивих течности.

4. Полигликоли. Обухватају низ производа са различитим карактеристикама. Густина полигликола већа је од 1 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. Типичне предности полигликола су висок индекс вискозности, ниска испаривост, власништво чистог сагоревања, добра термичка стабилност и мазивост. Главни недостатак је што се не могу мешати са минералним уљима и лоше понашање према стандардним адитивима. 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. Ипак, њихова примена је врло различита, укључујући уља за зупчанике, хидрауличка уља, уља за каљење, масти, уља за расхладне компресоре и течности за обраду метала [25].

5. Остала синтетичка мазива. У ову спадају друга синтетичка течна мазива као што су силикони, силикатни естри, полифенил-етри, халогенисани угљоводоници и други.

Биљна базна уља

Биљна уља и животињске масти су била прва мазива које је човек користио. Та уља су због неповољне стабилности на високим и ниским температурама, потиснута доласком минералних уља, што је било условљено и све оштријим захтевима током развоја индустрије. Данашњи захтеви за нетоксичним и брзо биоразградивим мазивима, која се користе пре свега на местима где је велика опасност од загађења околине, условила су повратак биљних уља у свет индустријских мазива. Најважније врсте биљних базних уља које се данас користе су уља добијена од плодова уљане репице, соје и сунцокрета.

Уља биљног порекла (репицино, маслиново, рицинусово, палимино итд.) су триглицериди - естри глицерина и незасићених виших масних киселина. Репичино уље се користи за производњу хидрауличних уља и уља за подмазивање ланаца моторних тестера.

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

Класификација уља и мазива код механичких преносника

-краћи интервали замене у односу на минерално уље због слабије оксидационе стабилности,

-не може се користити на температурама испод -20°C

-радна температура уља је 70°C , максимално до 80°C

Репичино уље се не може користити као базно уље за производњу моторних уља или уља за зупчасте преноснике.

Предности које опредељују употребу биљних уља као мазива су нетоксичност, биоразградљивост, обновљива сировина, добра мазивост, висок индекс вискозности, а недостаци су лоша оксидациона стабилност, неповољне ниско-температурне карактеристике, лоша хидролитичка стабилност и цена која је 1.5 до 2 пута већа од минералног уља.

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.



Слика 2.4. Биљна базна уља: а) уље уљане репице, б) сунцокретово уље, ц) маслиново уље, д) сојино уље, е) палмино уље

2.4.3.Полутечна мазива – Мазиве масти

То су најчешће мешавине мазивог уља или неке мазиве течности и друге погодне материје која делује као згушћивач. Мазива маст је заправо мазиво уље у полутечном, течном и чврстом стању, зависно од садржаја или врсте угушћивача који се додаје у мазиво уље. Користе за подмазивање делова механичких система где уља, као течна мазива, из техничких или економских разлога, не задовољавају. Због своје конзистенције и адхезивних особина, масти се боље и дуже задржавају на површинама елемената механичких система. Производе се од базних уља, угушћивача и адитива.

БАЗНА УЉА + АДТИВИ + УГУШЋИВАЧИ = МАЗИВЕ МАСТИ

По обиму и распрострањености коришћења техничке масти долазе одмах иза уља. Највише заступљена полутечна мазива су техничке масти за подмазивање.



Слика 2.5. Мазиве масти

Са становишта извршавања функција које се постављају мазивима, употреба техничких масти има предност:

- ако се захтева стално присуство мазива на месту подмазивања, нарочито при покретању и заустављању машина
- на местима где се због конструкционог решења не може користити течно мазиво
- ако се поред подмазивања захтева и одговарајуће заптивање и спречавање продора нечистоћа из околине.

Мане мазивих масти су:

- повећани отпори при струјању
- мања способност хлађења
- лоша оксидациона стабилност и стабилност при складиштењу.

Функције мазивих масти:

- смањење трења и хабања
- заштита од корозије
- заштита од продора воде и абразивних честица у зону подмазивања
- због своје конзистенције и адхезивних особина, масти се боље и дуже задржавају на површинама елемената механичких система од уља

-ублажавање буке и редукција

Техничке масти се користе за подмазивање: котрљајних лежајева, зглобова, ланаца, ужади, осовина, клизних лежаја, отворених зупчастих преносника.

Према врсти угушћивача мазиве масти деле се на:

-сапунске (литијумове, калцијумове, натријумове, алуминијумове, баријумове или комплексни сапуни метала: Li комплекс, Ca комплекс, Al комплекс) и
-несапунске (силикатни гел, бентонит, полиуреа)

Према могућности примене деле се на:

-вишенаменске – универзалне масти,
-специјалне масти са додатком чврстих мазива (графитна маст, маст са молибдендисулфидом) и
-масти за кугличне или клизне лежајеве
-масти за зупчанике

Према подручју радних температура:

-нискотемпературске,
-за нормалну температуру и
-високотемпературске

Према способности подношења великих оптерећења:

-масти које подносе високе притиске (EP – масти)
-масти за нормална оптерећења

Мазиве масти морају да задовоље следеће захтеве:

-да обезбеде континуирано подмазивање,
-да на ниским температурама остану меке и употребљиве и у централним системима,
-да на високим температурама не долази до капања (издвајања течности),
-да су компатибилне са заптивкама, односно да не утичу на стврдњавање, скупљање или размекшавање еластомера,
-да су оксидационо стабилне пошто је пуњење често трајно.[26]

2.4.4.Чврста мазива

Чврсто мазиво је материјал који се као прах или танак филм користи за заштиту клизних површина и смањење трења и хабања у процесу релативног кретања. У стручној терминологији се користи и термин сува мазива, што асоцира на подмазивање без присуства течног флуида. Међутим, треба имати у виду да се често подмазивање врши суспензијама чврстих мазива у течним мазивима, или чврста мазива могу имати улогу адитива других мазива.

Чврста мазива се употребљавају у условима високих или екстремно ниских температура, веома великих оптерећења и притисака, у условима наглих и великих промена оптерећења, код недоступних или тешко доступних делова, код делова који се могу подмазивати само повремено (непериодично), у корозивним срединама, у вакууму и код делова који се крећу великим брзинама. Осим тога, чврста мазива су погодна за примену у срединама у којима се јавља прљавштина, прашина или песак у количинама које могу изазвати проблеме. Наиме, мазива чију основу чине производи нафтног порекла теже да сакупе ове честице и на тај начин стварају абразивну смешу која може да оштети

површину која се подмазује. Она доприноси смањењу бучности мењачких кутија тако што попуњавају неравнине на зубима зупчаника. Спречавајући додатно хабање она продужавају век трајања зупчаника који су били предвиђени за замену.

Користе се да би осигурала добро уходавање уместо хабања код тек обрађених металних површина, као што су оне које се могу наћи код машина које су ремонтване. Такође се користе код калупа за ливење, лежаја, ланаца, зупчаника, вођица, каблова, котура, клизајућих парова и спојница и сл.

Чврста мазива која се најчешће присутна у индустрији су:

- материје ламеларне структуре,
- полимерни материјали
- керамички материјали
- филмови меких метала.[26]

Као мазива из групе ламеларних солида најчешће се користе графит и молибдендисулфид (MoS_2).

Графит има мали коефицијент трења и веома велику термичку стабилност, чак и на температурама преко $2000^{\circ}C$. Међутим, практично је примена лимитирана температурама изнад $500^{\circ}C$ до $600^{\circ}C$, због појаве оксидације. Осим тога, максималну радну температуру графита лимитира и потреба да графит адсорбује одређену количину влаге, како би се постигао минимални коефицијент трења. У неким случајевима потребна влага се обезбеђује адсорбовањем из окружења, или се обазриво додаје у циљу снижења коефицијента трења. Поред ових напомена треба имати у виду да графит има висок електрични потенцијал од $+0,25\text{ V}$, који може узроковати јаку галванску корозију легура бакра и нерђајућих челика у сланој води.

Графит је најпогоднији за подмазивање у регуларној атмосфери. Водена пара је неопходна компонента за подмазивање графитом. Због тог услова, графит није ефикасан за подмазивање у вакууму. У оксидационој атмосфери графит је ефикасан на високим температурама до $450^{\circ}C$ непрекидно и може да издржи много вишу температуру. Топлотна проводљивост графита је генерално ниска $\sim 1,3\text{ W/mK}$ на $40^{\circ}C$.

Графит карактеришу две главне групе: природне и синтетичке. Синтетички графит је висок температурни синтеровани производ и одликује се високом чистоћом угљеника (99.5-99.9%). Степенем квалитета синтетички графит може прићи квалитету природног графита са добром мазивошћу.

Природни графит потиче из рудника. Квалитет природног графита зависи од квалитета руде и после прераде руде. Крајњи производ је графит са садржајем угљеника (висок степен графит 96-98% угљеника), сумпора, кварца и пепела. Већи садржај угљеника и степен графитизације (високо кристални), дају бољу мазивост и отпорност на оксидацију [27].

Молибдендисулфид (MoS_2), као и графит, има низак коефицијент трења, мазиве особине често превазилазе особине графита али за разлику од графита ефикасан је у вакууму и има већу моћ ношења. С аспекта термичке стабилности MoS_2 је ограничен на температури од $400^{\circ}C$ у присуству ваздуха, односно применљив до температуре од $1100^{\circ}C$ у неоксидирајућим условима.

Величина честица и дебљина филма су важни параметри који треба да буду усклађени са површинском храпавошћу подлоге. Велике честице могу довести у претераног хабања услед нечистоћа у MoS_2 , мале честице могу довести до убрзане оксидације.



Слика 2.6. Графит и MoS2 као средства за подмазивање

Полимери се користе као танки мазиви филмови, као самоподмазујући материјали за израду елемената и као везиво за ламеларне солиде. Најпознатија чврста мазива из групе полимера свакако је флуоркарбонати политетрафлуоретилен (PTFE) и тетрафлуоретилен (TFE).

Политетрафлуоретилен је полимер који граде флуор и угљеник. Комбинација флуора и угљеника је једна од најстабилнијих материјала и овај полимер има неке специфичне особине, које га чине погодним за примену тамо, где други материјали (природни и синтетички) не могу да дају задовољавајуће резултате.

PTFE има добре механичке карактеристике. Може се употребљавати у широком температурном интервалу (од -250°C до 260°C). Има изузетно низак коефицијент трења (најнижи међу чврстим материјалима). Коефицијент статичког и динамичког трења су практично исти. Има одлична дијалектрична својства, која се не мењају ни на високим температурама. Дobar је изолатор. Површина PTFE је изузетно не лепљива и не упија влагу. PTFE је нетоксичан и има изузетно велику хемијску отпорност. Потпуно је отпоран на утицај светлости и атмосферских прилика. Недостаци укључују нижу моћ ношења и краћи век трајања.[28]



Слика 2.7. Елементи израђени од PTFE компаније Hite'er Machinery Manufactory из Кине

Графит, молибдендисулфид и PTFE се као чврста мазива користе на неколико начина:

1. Наношењем праха на контактне површине. Користе се поступци утрљавања, запрашивања или урањања.

2. Стварањем дисперзије праха у мазивим мастима или уљима за подмазивање. Чврста мазива имају улогу EP или антихабајућих адитива.

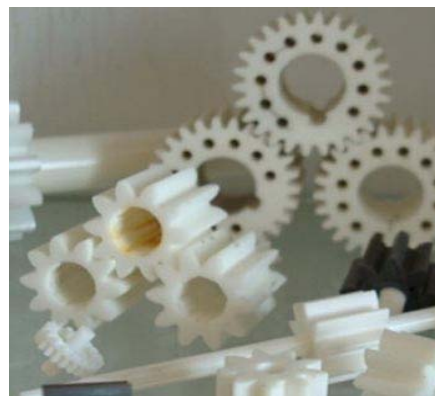
3. Спреј поступком, наношењем четком или потапањем предмета обраде. На овај начин се чврста мазива припремљена у виду смоластих материјала (мешањем са смолом) могу наносити на претходно припремљене површине поступцима одмашћивања, пескарења и пасивизације. Везивање превлаке за основни материјал остварује се у току топлотног третмана који подразумева повишену температуру (око 150°C) у трајању од једног до неколико часова.

Многи меки метали, као што су олово, злато, сребро, бакар и цинк имају малу смицајну отпорност и могу се користити као мазиво депоновано у танком слоју на тврде површине. Депоновање се може извести електроплатирањем и PVD поступцима (sputtering, ion plating). Ови филмови су најкориснији у условима високих температура до 1000°C, али се све мање срећу у примени.

У најновије време присутна је тежња да се унапреди антикорозиона функција чврстих мазива, што доводи до развоја вишенамених тврдих мазива. Од њих се очекује да редукују трење, смање хабање и обезбеде корозиону заштиту. То се постиже великом брзином превођења мазива из стања смоле у чврсто стање приликом формирања превлаке, елиминисањем графита, који током времена узрокује појаву галванске корозије и додавањем инхибитора корозије у састав чврстих мазива.

Посебну врсту чине чврста мазива која се развијају и производе за експлоатацију при екстремно високим температурама (турбомотори, адијабатски дизел мотори, гасне турбине, свемирске летилице). У таквим условима наведене три групе конвенционалних чврстих мазива не могу се успешно примењивати. Њих замењују различите врсте флуорида, металних оксида и материјала на бази стакла.

За температуре 1000°C и више метални материјали за израду трибомеханичких елемената се замењују **керамиком**. У тим случајевима керамика мора бити самоподмазујућа, што се постиже инкорпорирањем мазива, или наношењем превлаке чврстог мазива отпорног на високе температуре. Најпознатији керамички материјали који се користе су алуминијум-триоксид (Al_2O_3), цирконијум-оксид (ZrO_2), волфрам карбид (WC) и силицијум карбид (SiC).



Слика 2.8. Лежај и зупчаници израђени од керамике

У ширем смислу под чврстим мазивима се могу подразумевати и танке триболошке превлаке са добрим подмазујућим својствима добијене модификовањем контактних површина. Овакве превлаке са посебно израженим позитивним триболошким ефектима депонују се савременим PVD поступцима, и то: ламинарна мазива (MoS_2 , WS_2 , NbS_2 и други) примарно поступцима “ rf ” и “ dc ” распаршивања, а органски полимери (PTFE) поступком “ rf ” распршивања.

Многи **меки метали**, као што су олово, злато, сребро, бакар, цинк, калај имају малу смицајну отпорност и могу се користити као мазиво. Примењују се за мале брзине и оптерећења до температуре коју одређује тачка топљења метала. Претежно се користе као мазива у вакууму.

3. ПОБОЉШАЊЕ СВОЈСТАВА МАЗИВА

На табели 3.1. су приказана својства основних група мазива.

Својство мазива	Група мазива			
	Течна мазива	Полутечна мазива (масти)	Чврста мазива	Гасовита мазива
Погодност за хидродинамичко подмазивање	Одлична	Задовољавајућа	-	Добра
Погодност за гранично подмазивање	Лоша до одлична	Добра до одлична	Добра до одлична	Обично лоша
Способност хлађења	Врло добра	Лоша		Задовољавајућа
Ниско трење	Задовољавајуће до добро	Задовољавајуће	Лоше	Одлично
Способност задржавања на месту подм.	Лоша	Добра	Врло добра	Врло лоша
Заптивање	Лоше	Врло добро	Задовољавајуће до добро	Врло лоше
Заштита од атмосферске корозије	Задовољавајућа до одлична	Добра до одлична	Лоша до задовољавајућа	Лоша
Температурски опсег примене	Задовољавајући до одличан	Добар	Врло добар	Одличан
Испарљивост	Врло висока до ниска	Ниска	Ниска	Врло висока
Запаљивост	Врло висока до ниска	Ниска	Ниска	Зависи од врсте гаса
Компатибилност са другим материјалима	Лоша до задовољавајућа	Задовољавајућа	Одлична	Добра
Цена мазива	Ниска до висока	Релативно висока	Релативно висока	Уопштено ниска
Век употребе одређен	Деградацијом и запрљањем мазива	Деградацијом мазива	Хабањем	Способношћу да се одржи снабдевање гасом

Табела 3.1. Својства основних група маива

3.1. Адитиви

Адитиви су материје које се додају мазивима у циљу побољшања или доношења неких нових особина мазивима, чиме се повећавају њихова експлоатационо-техничка

својства. То су синтетичке материје које су растворљиве у базном уљу, термички стабилне и врло ниске испарљивости.

С обзиром на механизам деловања могу се поделити у три основне групе:

-адитиви који побољшавају физичка својства мазива: депресанти тачке течења, импрувери индекса вискозности, адитиви против пенушања и адитиви за побољшање отпорности на оптерећење,

-адитиви који побољшавају хемијска својства мазива: антиоксиданти,

-адитиви који штите машинске елементе од штетних материја насталих у уљу: адитиви против корозије, дисперзанти и детерценти

Пред адитиве се постављају следећи захтеви:

-да приликом побољшања једних особина мазива не погоршају неке друге,

-да се добро растварају у минералним/синтетичким уљима, да се не издвајају у облику талога,

-да су стабилни, нерастворљиви у води, да не мењају своје особине током складиштења, да су што мање отровни и да немају непријатан мирис.[29]

Следећи адитиви се примјењују:

Побољшивачи тачке течења – Депресанти.

Да би се омогућио рад на нижим температурама, мазивим уљима се додају материје које снижавају тачку течења. Механизам деловања ових адитива се заснива на обмотавању микроскопски ситне кристале парафина при чему се онемогућава њихово груписање и таложење, тако да уље остаје дуже течљиво. Немају способност спречавања кристализације (стварања кристала) и не утичу на тачку замућења уља.

Побољшивачи индекса вискозности – Импрувери

Једна од најважнијих карактеристика неког мазива је стабилност вискозности са променом температуре, односно вискозно-температурна својства. На ниским температурама ови адитиви готово не дејствују, а на високим температурама је пад вискозности мањи услед њиховог угушћивачког деловања. Импрувери индекса вискозности су адитиви за побољшање индекса вискозности уља и користе се за производњу мултиградних уља.

Адитиви против пенушања – антипенушавци

Стварање пене настаје продирањем мехурова ваздуха у уље или услед деловања детерцентних и антиоксидационих адитива. Пена је врло непожељна нарочито у хидрауличним и редукторским уљима, погоршава подмазивање и узрокује губитак преноса снаге у хидрауличним системима. Антипенушавци спречавају образовање стабилне пене у уљу. Делују тако да смањују површински напон мехурића ваздуха (мехурићи пуцају) и тако доприносе брзој разградњи пене.

Адитиви за заштиту од хабања

Смањују хабање спрегнутих контактних површина брегасте осовина, подизача вентила, радилице, лежајева и др. Најширу примену имали су адитиви на бази цинка. Међутим све се мање користе у производњи уља за савремене моторе због некомпатибилности са катализаторима за догоревање несагорелог горива.

Адитиви за заштиту од високих притисака и ударних оптерећења

Да би се побољшала отпорност уљног филма мазивима се додају посебни адитиви који се према условима примене деле на три основне групе:

-адитиви за побољшање мазивих својстава (поларни адитиви),

-адитиви за смањење процеса хабања (AW адитиви),

-адитиви за подношење екстремно високих притисака (EP адитиви)

Као **адитиви за побољшање мазивих својстава** користе се природни естри масних киселина (репичино уље, рицинусово уље), синтетички производи (естри) као и аминске соли масних киселина. Побољшавају мазивост, што значи способност и брзу оријентацију молекула уља према металној површини (поларност) као и ефикасност њихове адсорпције на површини.

Међу поларне адитиве спадају и “модификатори трења”. Као “модификатори трења” користе се амиди, хлороване масне киселине, биљна уља као и адитиви на бази молибдендисулфида. Код моторних уља смањују трење при чему се смањује потрошња горива. Посебна пажња се посвећује избору овог типа адитива код средстава за обраду метала.

Од **адитива за смањење хабања (AW адитиви)** највећу примену имају адитиви чија је метална компонента цинк. Адитиви на бази цинка имају највећу ефикасност на вишим температурама (преко 1500°C) при чему знатно смањују коефицијент трења, а тиме и интензитет хабања. У новије време ограничава се употреба адитива који садрже цинк. Ограничена употреба адитива који садрже цинк је посебно изражена код уља за подмазивање мотора савремених аутомобила који имају уграђен катализатор догоревања.

Адитиви за заштиту од екстремно високих притисака и ударних оптерећења (EP адитиви) користе се за заштиту од високих локалних притисака и ударних оптерећења у условима граничног подмазивања. У таквим околностима EP адитиви формирају аноrganска једињења са металним површинама, који преузимају на себе улогу чврстог мазива. Интензитет активности атома сумпора, фосфора и хлора, који представљају основу EP адитива, зависи од температуре и притиска на месту контакта.

Адитиви за заштиту од оксидације – Антиоксиданти

Антиоксиданти су адитиви који повећавају постојаност уља према дејству кисеоника и представљају најчешће коришћене адитиве. Како су продукти оксидације корозивни, инхибирањем оксидације аутоматски се инхибира и корозија. Ови адитиви врше пасивизацију металне површине и на тај начин смањују каталитичко деловање метала на процес оксидације.

Адитиви за заштиту од корозије - Инхибитори корозије

Инхибитори корозије (антикорозивни адитиви) штите металне делове машинских елемената који су изложени дејству рђе и корозије. Корозија је електрохемијски процес и настаје агресивним деловањем киселих хемијских продуката, а рђа је вид корозије када ваздух или вода делују агресивно на металну површину. Основни механизам деловања антикорозивних адитива заснива се на формирању заштитног слоја на површини метала физичком и хемијском адсорпцијом.

Антиоксиданти и детерџенти (базни адитиви) су такође инхибитори корозије.

Детерџентни адитиви

То су материје које спречавају таложење нечистоћа на деловима мотора који се налазе под утицајем високих температура. Механизам деловања ових адитива заснива се на њиховој способности да чисте металне површине од производа оксидације и не допуштају да се накупљају и талоче по површинама и захваљујући свом алкалном својству могу да неутралишу хемијски агресивне киселе продукте настале сагоревањем горива са повећаним садржајем сумпора. Параметар за ово је Тотални Базни Број (TBN). У одређеним случајевима ови адитиви истовремено показују нека својства инхибиције корозије и рђања, па се сврставају у групу вишефункционалних адитива.

Дисперзантни адитиви

Они имају улогу да држе у дисперзији продукте настале оксидацијом уља (смоле, чађ) у условима ниских и средњих радних температура. Ови продукти настају у моторима у условима “стани-крени” градске вожње на кратким релацијама и у условима подхлађеног мотора. Дисперзанти су безпепелна једињења а механизам деловања састоји се у опкољавању молекула нечистоћа у уљу, одржавају их у дисперзном стању, односно спречавају груписање честица, њихово таложење и зачепљење циркулационих путева. Осим тога, ови адитиви морају имати и одређена детерџентна својства, односно својства растварања смоласто-асфалтних једињења и уљног муља.

Деактиватори метала

Ови адитиви редукују каталитички утицај метала (металних опиљака) на оксидацију уља. Честице се облажу заштитним слојем који прекида или умањује каталитичко деловање на процес оксидације. Осим тога, они разлажу продукте оксидације и прекидају штетне реакције.

Адитиви емулгатори

То су најважнији додаци емулзионим уљима која са водом граде емулзије. Због великих површинских напона у граничним слојевима уље и вода се не мешају. Задатак емулгатора је да смање површински напон и обезбеде стварање стабилне емулзије.

Адитиви деемулгатори

Функција деемулгатора је да спречи стварање емулзије у случају продора воде у систем. Механизам деловања се своди на повећање површинског напона између молекула уља и воде и спречавања процеса стварања емулзије.

3.2. Угушћивачи

Угушћивачи су супстанце које током процеса производње мазиве масти, под одређеним условима стварају у уљу структуре међусобно испреплетаних влакана формирајући сунђерасту структуру и тако претварају уље у мазиву маст. Сапуни на себе вежу од 80-95% базног уља. Угушћивачи могу бити сапунски (калцијумови, натријумови, литијумови, баријумови, алуминијумови итд.), комплексни сапуни и несапунски (гел, бентонит).

Сапунски угушћивачи

Сапунски угушћивачи су производ реакције масне киселине и хидроксида алкалних метала. Према врсти угушћивача мазиве масти се називају: литијумове, натријумове, калцијумове, алуминијумове итд. Са циљем добијања мазиве масти одређених карактеристика, могу се помешати два различита сапуна, па се такве масти називају мешовите.

Комплексни сапуни

Комплексни сапуни су сачињени од две комплексно везане соли, од којих је једна обична со више масне киселине, а друга со нискомолекуларне органске киселине. Комплексни сапуни дају мастима особине које се не би могле добити коришћењем једноставних металних сапуна или њиховом комбинацијом.

Несапунски угушћивачи

Несапунски угушћивачи дају специјалне карактеристике мастима. Ове масти су термички врло стабилне и углавном немају тачке капања, због чега се најчешће користе за подмазивање на високим температурама или на местима где се захтева отпорност на деловање воде и киселина.

Као несапунски угушћивачи користе се:

Неоргански угушћивачи – високодисперзне модификоване глине, олефилни силицијум диоксид, разни пуниоци и чврста мазива, оксиди метала у облику аморфног (финог) праха,

Органски угушћивачи - чврсти угљоводоници, чађ, полиуреа, полимери, пигменти.

Према врсти несапунског угушћивача мазиве масти се називају: бентонитне, силикагелне, пигментне, полиуреа масти, мазиве пасте.

4. АНАЛИТИКА МАЗИВА

Особине мазива су одређене особинама базних уља и адитива. Све особине мазива се могу поделити на: 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 и отпорност на хабање (тест са четири кугле), отпорност мазивог филма (Timken тест), антихабајућа својства мазива код зупчаника (FZG тест или RYDER тест), антихабајућа својства хидрауличних уља (Vickers тест) итд.

Густина

Густина је однос масе и запремине уља: $d = m / V$. Одређује се на температури од 15°C и изражава се у (kg/m^3) или (g/cm^3) . Густина се незнатно мења са порастом притиска, али се знатно мења са променом температуре, јер се променом температуре мења запремина течности.

Методe одређивања густине су: ISO 3675, ASTM D1298 и IP 160.

Вискозност

Вискозност је важна карактеристика моторних уља, а дефинише се као мера унутрашњег трења које делује као отпор на промену положаја молекула при струјању уља када се оно налази под дејством силе смицања, односно то је отпор течности на смицање њених честица. При кретању течности, међу честицама и између честице и површине цеви с којом долазе у додир, настају силе трења узроковане отпором течности према смицању честица, али и због хrapавости тих површина. Вискозност је променљива величина и зависи од промене температуре. Што је температура виша, вискозност је мања и обрнуто.

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 (h) и кинематичка (n) вискозност.

Јединице за динамичку вискозност су: $\text{Pa}\cdot\text{s}$ (Paskal sekunda) и $\text{mPa}\cdot\text{s}$ (mili Paskal sekunda). Раније коришћене јединице су: P (Poaz) и cP (centi Poaz).

Важи следећа релација: $1 \text{ mPa}\cdot\text{s} = 1 \text{ cP}$.

Методe за одређивање динамичке вискозности су: ASTM D2602, DIN 51377.

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

$n = h/d$. Јединица за кинематичку вискозност је: mm^2/s . Раније коришћене јединице су: St (Stokes) и cSt (Centistokes) или $^{\circ}E$ (Englerovi stepeni). Важи следећа релација: $1 \text{ mm}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt}$ и $^{\circ}E = \text{mm}^2/\text{s} \cdot 0,13$.

Методе одређивања кинематичке вискозности су: ASTM D445, DIN 51562, IP 166, ISO 3104.

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.

Индекс вискозности израчунава се следећим методама: ISO 2909, ASTM D2270 и DIN 51564

Њутновске течности

Течност чија се вискозност не мења променом брзине смицања. Минерална и синтетичка базна уља и уља која не садрже полимерне угушћиваче понашају се као њутновске течности.

Нењутновске течности

Течности којима се мења вискозност променом брзине смицања. То су моторна, хипоидна и остала мазива која су угушћена полимерима.

Тачка паљења

Тачка паљења је најнижа температура до које треба загрејати неко уље у условима при којима ће се ослобођене паре тренутно запалити принетим отвореним пламеном, без трајног горења. Изражава се у °C и сматра се мерилем испарљивости а значајна је за транспорт и складиштење због опасности од пожара.

Основне методе одређивања тачке паљења су: ISO 2592, ASTM D92, IP 36 и DIN 51376.

Тачка течења

Тачка течења представља најнижу температуру на којој неко мазиво уље, приликом хлађења, још показује тенденцију течења. Непосредно испод ове температуре уље се потпуно стињава.

Тачка течења се изражава у °C, а одређује се методама: ISO 3016, ASTM D97, DIN 51597.

Тачка замућења

Тачка замућења представља најнижу температуру на којој се у неком уљу, приликом хлађења, појављују први ситни кристали парафина, односно уље почиње да се мути.

Тачка замућења се изражава у °C, а одређује се методом: ISO 3016.

Испарљивост

Испарљивост подразумева количину уља која испари у прописаном времену на прописаној температури (Noack treat: 1sat на 250°C). 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°C код већине уља износи око 5%, а смањење испаравања минералног уља се може постићи додавањем синтетичке основе, посебно поли-алфа-олефина.

Испарљивост се одређује методом DIN 51581 (Noack тест) или ASTM D943.

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 одређује се методама ASTM D1401 и DIN 51599, а мери се 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, а одређује се методама: DIN 51589 и IP 19.

Стварање пене – склоност пенушању

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 и старење уља итд.

Изражава се у запреминским јединицама и стабилношћу пене на различитим температурама, а одређује се методом: ASTM D892.

Ослобађање ваздуха из уља – деаерација уља

Под деаерацијом се подразумева способност уља за издвајањем раствореног ваздуха. Важна је особина моторних, хидрауличних, компресорских, турбинских и других мазивих уља.

Одређује се методом DIN 51381, а изражава се временом потребним за свођење раствореног ваздуха на 0,2% запреминских.

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.

Основне методе за одређивање оксидационе стабилности су: ASTM D943, IP 157, DIN 51587 и DIN 51554.

Термичка стабилност

Дефинише се као отпорност уља против 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.

Основне методе за одређивање термичке стабилности су: ASTM D2960 и IP 311.

Неутрализациони број

Дефинише се као мера укупне киселости (садржаја јаких и слабих киселина) мазива.

За одређивање неутрализационог броја користе се методе: ASTM D664, IP 177 или ASTM D974, IP139. Изражава се у $mgKOH/g$ узорка уља.

Киселински број

Дефинише се као киселост мазивих уља која потиче само од јаких киселина. Одређује се истим методама као неутрализациони број и изражава се такође у $mgKOH/g$ узорка уља.

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)

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 киселине потребне да се неутрализују све базне материје у једном граму узорка мазива.

Основне методе за одређивање TBN су: ASTM D 2896 и ASTM D 664.

Анилинска тачка

Одређивање анилинске тачке врши се према ISO 2977 (ASTM D611) методи. Представља температуру на којој долази до потпуног мешања анилина и уља. Нижа анилинска тачка показује да уље садржи већу количину аромата. Анилинска тачка је значајна код одређивања особине растворљивости уља.

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 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 методама: ISO 3987 или ASTM D874.

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.

Ако моторно уље садржи више од 1,5% пепела из адитива, због могућности прераног паљења горива усијаним пепелом, не препоручују се за бензинске motore.

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, односно квалитет базних уља. Одређује се методом DIN 51551 а изражава у масеним процентима

Садржај асфалтена

У току употребе моторних уља, као последица старења, може доћи до стварања асфалтена као деградационог производа. Утичу на слепљивање клипних прстенова, зачепљења пречистача уља итд.

Одређују се методом: DIN 53595.

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.

Садржај воде

Вода је непожељна у уљу. Њен садржај се мора редовно контролисати јер увек постоји могућност да се у уљу нађе као контаминант, који може врло брзо да хидролитички разгради неке адитиве и да деградира уље пре употребе.

Уколико је садржај воде виши од 0,1%, одређивање се врши ксилолном методом, у супротном, мора се користити Karl-Fischer метода (DIN 51 777), а резултати се изражавају у *mg/kg*, односно *ppt* (part per million – један део воде на милион делова уља).

Корозивност

Корозивност уља подразумева агресивно понашање неких његових компонената према елементима механичких система. Корозивност се мора контролисати ради доношења одлуке о правовременој замени уља.

Одређује се методом: ASTM D130 (*Cu*, 3*h*, 100°C)

Сапонификациони број

Сматра се мером 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.

Одређује се методом ASTM D94.

Гранична температура пумпања

Под овим се подразумевају граничне вредности проуљености мотора (понашање у односу на хабање) након хладног старта. На тој температури, до уљне пумпе још увек дотиче довољно уља, а испод те вредности систем за подмазивање се више не напаја уљем у довољној мери и може доћи до усисавања ваздуха.

Градијент смицања

На местима подмазивања уље је, у зависности од броја обртаја и дебљине мазивог слоја, изложено различитим смицајним оптерећењима. Уље које прионе за делове који се не крећу има брзину 0, а на покретним деловима има брзину кретања самог тог дела. Градијент смицања је брзина на покретном делу подељена са дебљином мазивог слоја.

Код празног хода износи 105 s^{-1} , а при пуном оптерећењу 106 s^{-1} .

Смична стабилност

Смична стабилност је дефинисана као отпорност полимера адитива импрувера индекса вискозности на механичку разградњу под дејством смичног напрезања и зависи од молекулне масе и хемијској природи полимерног адитива. Што је молекулна маса полимера већа, већа је и вероватноћа да дође до његовог кидања. Када су у примени полимери изложени утицају високог смичног напрезања, долази до разарања молекула. То је цепање везе угљеник-угљеник на два полимерна радикала.

Смична стабилност се одређује мерењем пада вискозности након вишеструког проласка уља кроз бризгалку. Рачуна се према формули:

$$\text{Пад вискозности (\%)} = (V1 - V2)/V1 \cdot 100$$

V1 - кинематичка вискозност свежег уља

*V*2 - кинематичка вискозност смицаног уља

За одређивање смичне стабилности користе се методе: DIN 51382; ASTM D6278; СЕС L-14-A-93. Пад вискозности због напрезања на смицање уобичајно се одређује након проласка уља кроз бризгалку 30 циклуса. У току експлоатације моторног уља вискозност пада због кидања молекула импрувера индекса вискозности, што има за последицу слабљење уљног филма, односно појачаног трења и хабања. Установљена је нова метода ASTM D7109 која се разликује од претходне у броју циклуса са 30 на 90 на Orbahn Diesel Injector апарату. ASTM S7109 се захтева код нових спецификација: ACEA E6-04 и E7-04, API CJ-4 као и произвођачких спецификација: MB, Volvo VDS-3 и VDS-4 што значи да кинематичка вискозност на 100°C након смицања остане у градацији према SAE J 300 класификацији.

HTHS – смицање на високој температури

Спецификације SAE, ACEA, Mercedes-Benz и VW прописују код моторних уља минималне вискозитете за температуру уља од 150°C и градијент смицања 106 s^{-1} . То је смицање на високој температури, тј. HTHS (High Temperature High Shear). Утврђивањем граничних вредности за HTHS треба да се постигне да мултиградна моторна уља и код високих температура уља и код високог градијента смицања пружају потребну смицајну чврстоћу. ACEA је дефинисала граничне вредности за HTHS:

- A1/B1 од 2,9 $mPa\cdot s$ до 3,5 $mPa\cdot s$

- A2/A3/B2/B3/E1/E2/E3 више од 3,5 $mPa\cdot s$

Mercedes Benz и VW одступају од ACEA граница и генерално захтевају HTHS³ 3,5 $mPa\cdot s$.

Перманентни губитак при смицању

Под великим оптерећењем могуће је смицање побољшивача индекса вискозности. На тај начин се њихов ефекат угушћивања више или мање повећава. То је перманентни губитак услед смицања. Уља која и у најтежим радним условима стално задржавају првобитну SAE градацију зову се “Stay in Grade” уља.

Губитак услед испаравања

Уколико је минерално базно уље ниже вискозности, утолико је већи губитак услед испаравања на радној температури. Губици услед испаравања доводе до повећане потрошње уља и до повећања уљног талога на клиповима и вентилима. ACEA A1/2/3 и B1/2/3 допушта 13 до 15% губитка уља услед испаравања. VW 500.00 допушта максимум од 13% испаравања за уља SAE 5W-X и 10W-X по Noack тесту (температура уља 250°C за време од 1 сата).

Пенетрација масти

Пенетрација даје податке о тврдоћи масти тј. њеној конзистенцији. Мери се конусом по методама ASTM 217 IP 50 или DIN 51804, део 1. Мерна јединица одговара дубини уласка мерног конуса у маст која се 5 секунди налази у посуди, а мери се у десетинкама милиметра. Испитна маст се пре испитивања гњечи (стандард прописује 60 циклуса гњечења).

Реолошке особине масти

Реолошке особине мазиве масти подразумевају чврстоћу на смицање и кидање, жилавост, механичку и термичку стабилност и привидну вискозност. Ове особине се током времена мењају, а брзина промене или старења масти зависи од квалитета.

Конзистенција

Конзистенција представља меру за тврдоћу масти и изражава се пенетрационим бројем. Методе по којима се мери су: ASTM D217; ISO 2137 и DIN 51818.

Привидна вискозност

Привидна вискозност представља однос између смицајне чврстоће и брзине смицања у одређеном тренутку, на датој температури и под дефинисаним оптерећењем.

Мери се на температури од -54°C до 38°C по ASTM D1092.

Температура капања

Температура капања представља температуру на којој маст прелази из получврстог у течно стање.

Мери се по ASTM D 566 и 2265 и ISO 2176.

Оксидациона стабилност масти

Оксидациона стабилност представља способност масти да при деловању кисеоника сачува свој првобитни састав.

Мери се по методи ASTM D 942.

Механичка стабилност

Представља особину мазивих масти да задрже првобитну структуру и конзистенцију и после механичког дејства. Мери се по ASTM D 1403 (после 10.000 циклуса); ASTM D 1831 (после ваљања).

Колоидна стабилност

Колоидна стабилност представља способност мазивих масти да у својој структури задрже уље, супростављајући се његовом издвајању при складиштењу и експлоатацији. Мери се после 24 часа и после 168 часова на 40°C методама ASTM D 1742; IP 121.

Отпорност према води

Способност масти да у контакту са водом не промени своје особине. Мери се на температурама 38°C и 79°C по ASTM D 1264.

Заштита од корозије

Ова карактеристика мери се по ASTM D 1743, DIN 51 802, SKF EMCOR тест. Испитује се уз присутност воде, раствора соли или влагом.

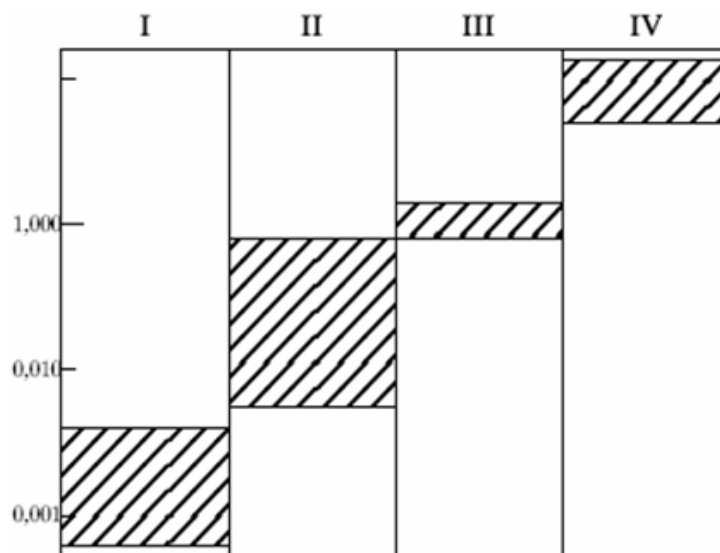
5. ТЕОРИЈА ПОДМАЗИВАЊА

5.1. Дефиниција, видови и врсте подмазивања

Подмазивање је процес раздвајања спрегнутих површина делова машина у релативном кретању слојем неке врсте мазива [8]. Дебљина слоја мазива може бити различита и у основи је функција геометрије спрегнутих површина које се подмазују, радних услова (брзине, оптерећења, температуре) и поступка подмазивања. Зависно од успостављене дебљине слоја мазива разликују се два основна вида или режима подмазивања - потпуно и непотпуно подмазивање [9].

Потпуно подмазивање је вид подмазивања код којег се између површина у међусобном деловању и релативном кретању формира континуални слој мазива довољне дебљине да спречи њихов додир. Да би се слој мазива одговарајуће дебљине одржао између површина под оптерећењем неопходно је да се у њему постигне притисак способан да носи спољашње оптерећење односно потребно је да слој има одређену моћ ношења. Уколико остварени притисак није довољан, мазиво ће под утицајем оптерећења бити истиснуто са површина са последицом повећаног трења и хабања.

Величина трења значајно зависи од начина подмазивања, што је приказано на слици 5.1.



Слика 5.1. Приближне вредности коефицијента трења у зависности од врсте подмазивања

*I - Хидродинамичко подмазивање II - Еластохидродинамичко подмазивање
III - Гранично подмазивање IV- Неподмазане површине*

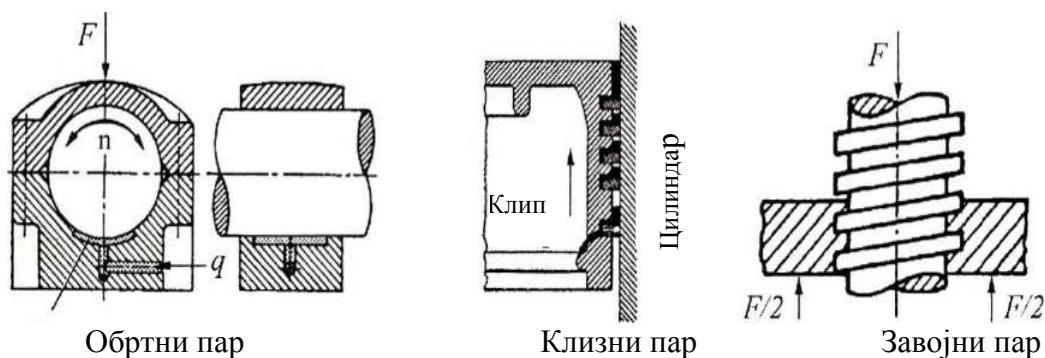
Притисак у слоју мазива може да се постигне на више начина и са различитим врстама мазива тако да се разликују следеће врсте потпуног подмазивања:

- а. Хидростатичко подмазивање (ХСП) - са течним мазивом;
Гасостатичко подмазивање (ГСП) - са гасовитим мазивом;
- б. Хидродинамичко подмазивање (ХДП) - са течним мазивом;
Гасодинамичко подмазивање (ГДП) - са гасовитим мазивом;
Реодинамичко подмазивање (РДП) - са полутечним мазивом;
- ц. Еластохидродинамичко подмазивање (ЕХДП) – са течним и полутечним мазивом

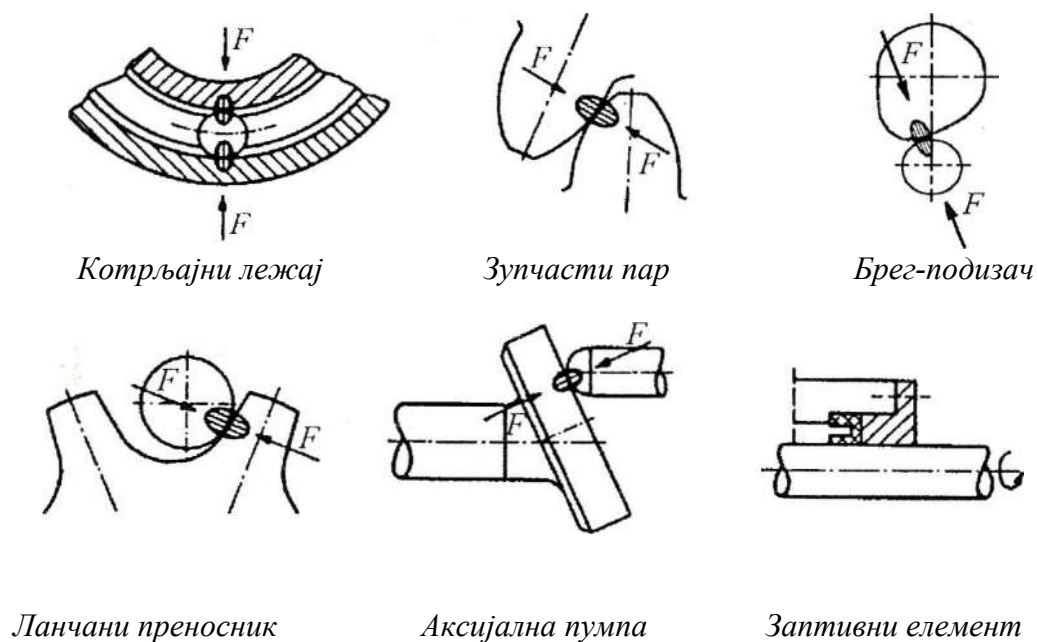
Од наведених врста потпуног подмазивања хидростатичко, хидродинамичко и еластохидродинамичко су најзаступљеније у пракси код основних и најважнијих машинских елемената. При томе је примена појединих врста подмазивања функција и услова додира површина које се подмазују, а који може бити конформан и неконформан.

Адекватан додир се јавља код нижих кинематских парова, чија је основна карактеристика да су спрегнуте површине прилагођене једна другој и да се, према томе, оптерећење преноси преко релативно велике површине додира, тако да специфична оптерећења нису изразито велика. Типични примери су клизни лежаји рукаваца осовина и вратила (сл. 5.2.), али и други елементи и склопови, као што су вођице, склоп клип-цилиндар прстен- цилиндар, завојнице и др. У тим условима деформације површина у додиру нису од значаја за процес подмазивања, а утицај притиска на вискозност је занемарљив, па се мазиво може сматрати изовискозним. Основне врсте потпуног подмазивања у условима конформног додира су хидродинамичко и хидростатичко.

Неадекватан додир се јавља код виших кинематских парова, као што су котрљајни лежаји, зупчasti парови, брегасти механизми (сл. 5.3.), додир шина - точак и многи други. Напони на додирним површинама код поменутих елемената и механизма су изузетно високи и прелазе и вредности од 2000 N/mm^2 , а слој мазива је мале дебљине. Овакви радни услови су последица мале површине додира код неконформних тела. Висока специфична оптерећења изазивају значајне деформације површина материјала, имају утицаја на величину додирне површине и на промену вискозности мазива са притиском. За те услове додира карактеристично је еластохидродинамичко подмазивање.



Слика 5.2. Нижи кинематски парови



Слика 5.3. Виши кинематски парови

Непотпуно подмазивање се јавља када је слој мазива недовољне дебљине да спречи директан додир површина. Основне врсте непотпуног подмазивања су:

- а. Мешовито или делимично подмазивање (МП) - све врсте мазива;
- б. Гранично подмазивање (ГП) —све врсте мазива.

Мешовито или делимично подмазивање је прелазни облик од потпуног ка граничном подмазивању. Настаје онда када је дебљина слоја мазива недовољна да потпуно раздвоји површине, што има за последицу њихов местимичан додир. Код граничног подмазивања дебљина слоја мазива тежи нули, а површине под оптерећењем и у релативном кретању су највећим делом у директном додиру. Непотпуно подмазивање се најчешће јавља код елемената машина изложених великим оптерећењима при релативно малим брзинама кретања

5.2.Хидростатичко подмазивање

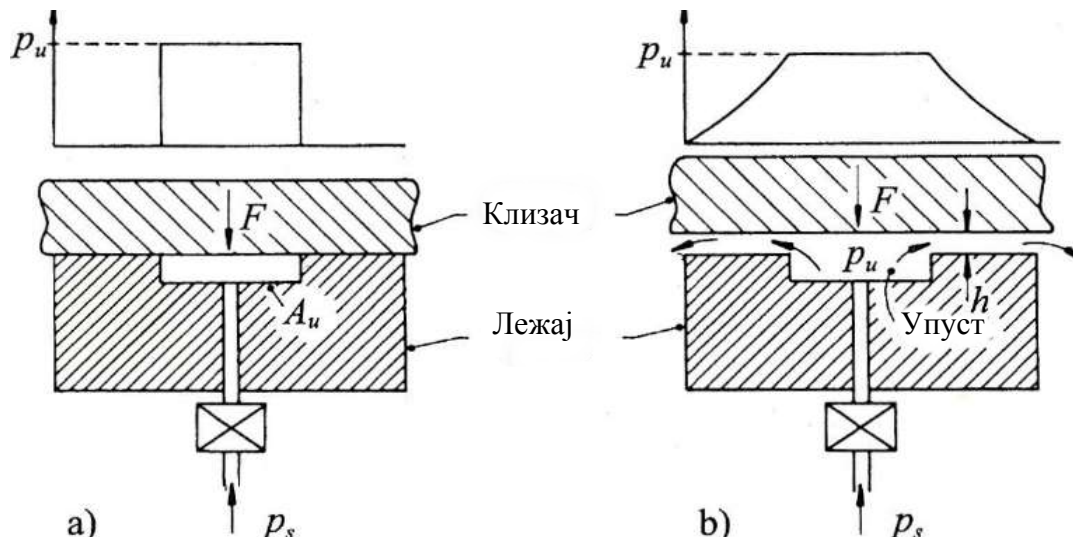
Хидростатичко подмазивање је, у принципу, најједноставнија врста потпуног подмазивања. Моћ ношења слоја мазива се постиже и одржава довођењем уља под притиском из неког спољашњег извора путем пумпе.

Ова врста подмазивања се примењује код клизних лежаја машина алатки, лежаја турбина и генератора у фази покретања, за смањење трења и хабања у условима клизања код вођица машина и укрсних глава, за елиминацију губитака услед трења при испитивању лежаја и код других трибо-уређаја, за одржавање тачног зазора између површина и за друге намене.

Предности оваког начина подмазивања су могућности рада елемената и механизма при малим и великим брзинама, као и брзини нула и широком опсегу оптерећења, јер је моћ ношења одређена величином притиска под којим се уље доводи између површина. Друге предности су мали полазни момент, висока тачност положаја и

добра динамичка стабилност. Као недостаци најчешће се наводе захтев за додатном опремом, опасност од отказа уређаја за довођење мазива под притиском и релативно високи трошкови за такве системе.

Најзначајнија примена ХСП је код различитих врста клизних лежаја. Основни пример хидростатичког клизног лежаја је аксијални лежај са упустом или локвом приказан на слици 5.4.



Слика 5.4. Шематски приказ хидростатичког лежаја

Течно мазиво сталног притиска p_s се упумпава у лежај и доводи путем пригушнице у упуст (локву) где влада притисак p_u . Мазиво струји радијално кроз зазор дебљине h и на крајевима лежаја достиже притисак p_a који је обично близу атмосферског. На клизач односно рукавац делује оптерећење F . Све док је притисак снабдевања p_s мањи од вредности F/A_u , где је A_u површина упуста, клизач је у додиру са површином лежаја (сл. 5.4.а). Рукавац се подиже када притисак снабдевања достигне вредност F/A_u . У том тренутку мазиво истиче из лежаја а површине су потпуно развојене (сл.5.4.б). Променом притиска снабдевања може да се мења дебљина слоја мазива.

5.3.Хидродинамичко подмазивање (ХДП)

Увођење мазива између површина елемената машина који су у релативном кретању, даје решења за многе триболошке проблеме. Један од основних и најчешћих начина је хидродинамичко подмазивање. То је врста потпуног подмазивања код које се својства мазива, геометрија површина и њихово релативно кретање користи за добијање довољног притиска у слоју мазива, који ће да носи дато оптерећење без директног додира површина. Другим речима, ако су површине које се подмазују под нагибом и ако постоји конвергентни (клинасти) зазор у смеру кретања, покретна површина повлачи мазиво у зазор условљавајући пораст притиска у њему, обезбеђујући тако одређену моћ ношења. То је основни принцип ХДП који се данас широко користи код мотора СУС, машина алатки, локомотива, ваздухоплова, пумпи, турбина, компресора итд.

Теорија ХДП је најчешће заступљена код прорачуна клизних лежаја тзв. хидродинамичких клизних лежаја, мада се примењује и при прорачуну подмазивања код котрљајних лежаја, зупчаника и других елемената машина.

Принципе ХДП први је установио О. Рејнолдс (O. Reynolds) 1886. године. Његова једначина, која се може наћи у многим књигама из трибологије и теорија подмазивања, представља још увек основу за све прорачуне, без обзира што се односи на идеалне лежаје код којих су површине глатке, без деформација и термичког ширења, а вискозност мазива стална величина. Са практичне стране најзначајнији Рејнолдсов закључак је да се ХДП може остварити ако површине у кретању граде конвергентан зазор у смеру струјања мазива, да је моћ ношења пропорционална са динамичком вискозношћу мазива и да расте са порастом релативне брзине површина

5.4. Еластохидродинамичко подмазивање (ЕХДП)

Код многих елемената и механизма механичких система, на спрегнутим површинама у релативном кретању јављају се, као последица ниске геометријске конформности, концентрисана оптерећења. Типични примери су котрљајни лежаји, зупчаници и брегасте механизми. Висока специфична оптерећења изазивају значајне деформације површинског слоја материјала, што доводи до промене геометрије и величине додирне површине. Подмазивање тих површина може бити потпуно тј. може да се оствари слој мазива мале али довољне дебљине. Континуални слој мазива генерише се као комбинација релативног кретања и еластичних деформација површина, као и промене вискозности мазива при високом притиску унутар додирне површине. Подмазивање које се реализује у тим условима назива се еластохидродинамичко. Овако дуг назив крије иза себе слојеве мазива мале дебљине, често не веће од $1\ \mu\text{m}$.

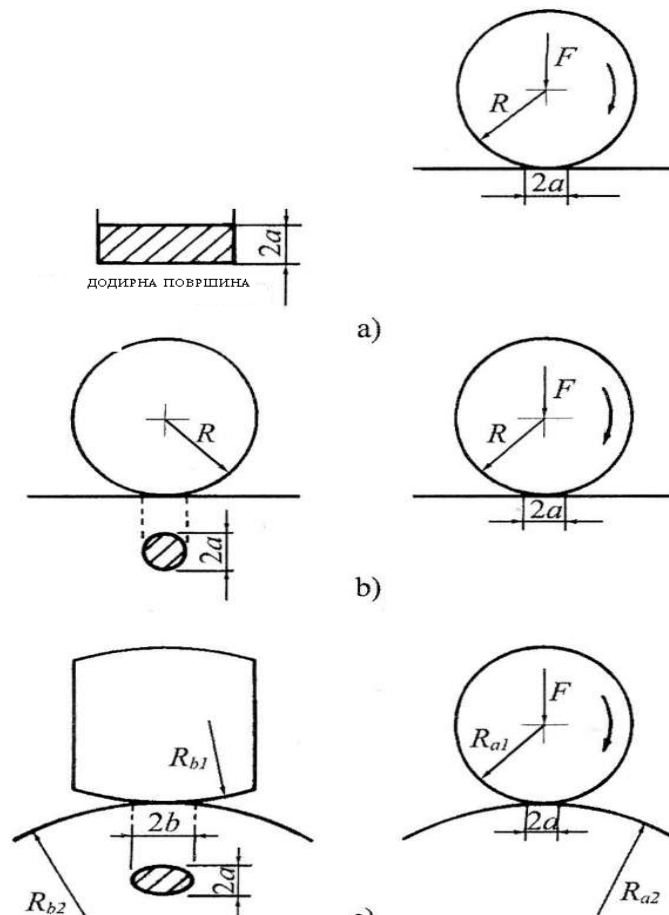
Еластохидродинамичко подмазивање се с тога може дефинисати као подмазивање еластичних, деформабилних тела. То значи да ЕХД теорија разматра подмазивање површина чврстих тела ниске конформности при високим специфичним оптерећењима [10].

За таква тела у неоптерећеном стању постоје, у основи две хипотетичке врсте додира:

- додир у тачки, ако се тела додирују само у једној тачки и
- линијски додир, ако се тела додирују дуж праве или криве линије.

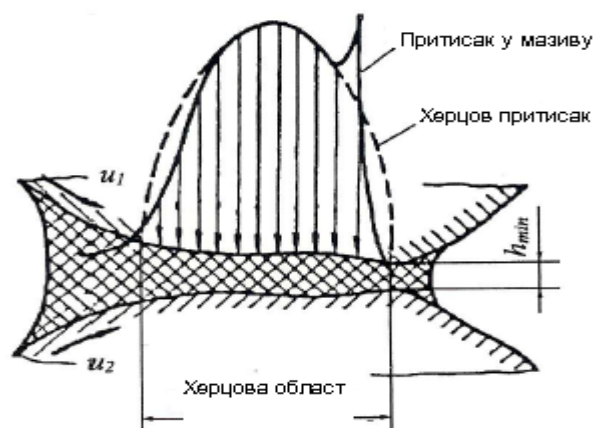
У реалним условима, при деловању оптерећења додир се јавља на малој али коначној површини. Облик и величина површине додира зависе од низа фактора, као што су геометрија тела, величина оптерећења и својства материјала (сл. 5.5.). Ако је цилиндар у додиру са равном површином, додир има у идеалном случају облик правоугаоника (сл. 5.5.а), док сфера и раван дају као резултат контакта кружну површину (сл. 5.5.б). Општи случај дефинисање елиптичном додирном површином (сл. 5.5.ц).

Површина додира се назива Херцова област, по Херцу (Hertz, 1881.) који је изучавао услове еластичног додира. Услед оптерећења у области додира влада висок притисак који се назива Херцов притисак.



Слика 5.5. Врсте додира код неконформних тела

Током подмазивања таквих површина мазиво струји кроз три области (сл. 5.6.): улазну која је конвергентна, Херцову област која је мање или више равна и излазну дивергентну област. При томе је мазиво у Херцовој области изложено високом притиску, што доводи до значајног пораста вискозности.



Слика 5.6. Облик и дистрибуција притиска у слоју мазива при ЕХД подмазивању

Расподела притиска у слоју мазива прати до одређеног степена Херцов притисак. Међутим, на крају области настаје локално висок притисак (пик) као резултат захтева за одржањем непрекидности струјања мазива. Слој мазива је сталне дебљине у зони додира, изузев на крају, где настаје локална редукција и слој има најмању дебљину.

Претходна разматрања наводе на закључак да услови ЕХД подмазивања зависе од следећих реверзибилних процеса:

- еластичне деформације површина које се подмазују и
- адијабатске промене вискозности у слоју мазива под утицајем притиска.

Дефинисање основних поставки ЕХД теорије подмазивања представља једно од важнијих открића на пољу теоријске трибологије. Откриће ове врсте подмазивања не само да објашњава физичке карактеристике подмазивања многих елемената машина, већ уноси ред и даје комплетну слику могућих врста потпуног подмазивања.

5.5.Гранично подмазивање (ГП)

Гранично подмазивање је врста непотпуног подмазивања код које су трење и хабање између површина у релативном кретању, величине одређене својствима површина и физичко-хемијским својствима мазива.

Систем са граничним подмазивањем има следеће опште карактеристике:

спрегнуте површине су у директном додиру, тако да се остварује знатан контакт неравнина,

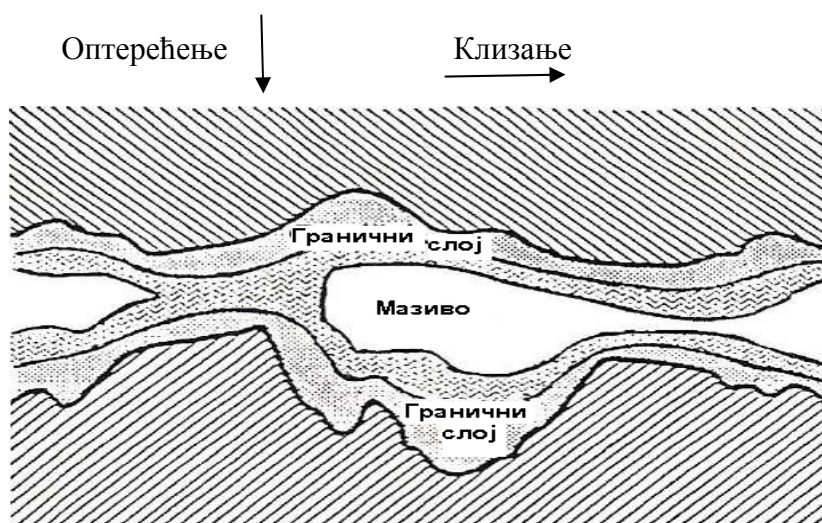
- дебљина слоја мазива тежи нули,
- хидродинамички ефекти и величина вискозности мазива нису од утицаја на триболошке карактеристике система и
- триболошке карактеристике система су одређене медусобном интеракцијом веома танких слојева (филмова) мазива и материјала чврстих површина.

Гранично подмазивање се најчешће јавља код трибомеханичких система који раде са великим оптерећењима, при високим температурама а малим брзинама. Ова врста подмазивања може да се јави као сталан и једино могући начин подмазивања, као што је то случај код отворених спороходних зупчастих преносника, ланаца, ужади и других или као прелазни облик, као на пример код хидродинамичких клизних лежаја у периоду покретања и заустављања.

У поређењу са осталим врстама подмазивања (хидродинамичким, еластохидродинамичким) или трењем сувих површина, гранично подмазивање је много комплексније пошто су различите интеракције материјала и мазива могуће. Величине трења и хабања код граничног подмазивања зависе од физичких и хемијских карактеристика материјала и хемијских својстава мазива и под утицајем су средине у којој систем ради.

Течна и полутечна мазива, данас најчешће коришћена у процесу подмазивања, немају добра својства везивања за површине метала и других материјала, тако да остварени слојеви не могу да задовоље захтеве рада савремених машина при граничном подмазивању. Због тога се мазивима додају различите материје, назване једним именом адитиви, које омогућују успешно формирање слојева погодних триболошких карактеристика (сл. 5.7.). Створени слојеви треба да смање површину додира чистих метала и истовремено повећају површину додира у самом граничном слоју. Надаље, слојеви треба да имају ниску вредност напона смицања како би трење при релативном

кретању површина било што мање и да поседују добру постојаност при свим условима рада, пре свега при повишеним температурама



Слика 5.7. Шематски приказ слојева при граничном подмазивању

6.ТЕХНИЧКА РЕГУЛАТИВА

6.1.Стандарди и означавање мазива

Стандарди различитих намена које обухвата техничка регулатива везана за мазива, издају се на националном и интернационалном нивоу. Стандарди, упутства и препоруке служе да обезбеде рационалност, квалитет и побољшају међусобно споразумевање у разним областима људске делатности (економији, инжењерству и другим).

Према Вујаклијином речнику »стандард« је реч енглеског порекла која означава законски утврђену меру, нешто што важи као узор и образац [11]. Често се стандард дефинише као прихваћен или потврђен узорак у односу на који други продукти могу бити мерени или процењивани [12].

Стандарди као техничке норме могу бити различитих категорија. Када се разматрају мазива, од посебног интереса су стандарди за класификације, стандарди за спецификације појединих категорија мазива и стандарди за методе испитивања мазива.

Класификација течних и полутечних мазива, као основних и најважнијих мазива, врши се најчешће према намени тј. месту употребе, а у оквиру тога према основној физичкој карактеристици вискозности односно конзистенцији.

Означавање мазива дефинисано је стандардом SRPS ISO 8681/91. Према наведеном стандарду, после ознаке стандарда ISO долази ознака за мазива као класу, а то је слово L (сл. 3.1). Наредна група састоји се од словних и бројчаних ознака, при чему прво слово означава фамилију мазива, а остала слова, додата словној ознаци фамилије, представљају одређене категорије у оквиру фамилије. Бројна ознака је везана за врсту производа који има дефинисану вискозност код течних мазива и пенетрациони број код техничких масти.



Слика 6.1. Означавање течних и полутечних мазива

На тај начин су течна мазива дефинисана према намени и величини вискозности, као што то показује пример,

ISO - L- HM 68,

где је:

L - ознака за класу мазива,

H - ознака фамилије којој припада мазиво (хидрауличко уље),

M - дефинише ближе својства категорије мазива у оквиру фамилије и

68 - означава да мазиво има вискозност $68 \text{ mm}^2/\text{s}$ на 40°C .

6.1.1. Општа класификација течних и полутечних мазива

Поједине фамилије мазива и категорије производа у оквиру група течних и полутечних мазива најчешће се декларишу, како је већ наведено, према намени. Ова подела је посебно важна за машинску технику због тога што директно указује за које се сврхе могу користити поједине фамилије односно категорије мазива.

У већини случајева мазива подељена према намени носе називе који одговарају називима машина и уређаја за чије се делове и механизме користе у процесу подмазивања (нпр. уља за моторе СУС, уља за турбинска постројења, уља за компресоре итд.) или називе просеца при којима се користе мазива (средства при обради резањем, деформисањем итд.).

Међународна организација за стандардизацију ISO извршила је поделу свих мазива на 18 фамилија 1931. године. При томе је свака фамилија мазива обележена одређеним словом како је то дато у табlici 6.1. Даља подела у оквиру сваке фамилије је такође дефинисана за већину мазива, одговарајућим ISO стандардом. Поделе у оквиру фамилије на категорије производа приказане су у поглављима која обрађују подмазивање машинских елемената и система.

Фамилија	Назив	Фамилија	Назив
A	Проточно подмазивање	N	Електричне инсталације
B	Овајање калупа	P	Пнеуматски алати
C	Зупчасти преносници	Q	Пренос топлоте
D	Компресори	R	Привремена заштита од корозије
E	Мотори СУС	T	Турбине
F	Лежаји вретена, лежаји и спојнице	U	Термичка обрада
G	Вођице, клизне стазе	X	Област примене тех. масти
H	Хидраулички системи	Y	Друге области примене мазива
M	Механичка обрада метала	Z	Цилиндри парних машина

Табела 6.1. Класификација уља према намени

Преглед течних мазива у односу на врсту базног уља и најчешће коришћене адитиве дат је у табlici 6.2.

Фамилија мазива	Базна уља	Најчешће коришћени адитиви
А - Мазива за проточна подмазивања	Минерална уља, биљна уља, синтетички произ.	За повишене притиске, модификатори трења, против хабања
С - Уља за затворене зупчасте преноснике	Високо рафмисана минерална уља, синтетичка уља и течности	Материјал зупчаника: челик/челик против хабања, за повишене притиске, против оксидације и пењења Материјал зупчаника: челик/обој. метал против оксидације, модификатори трења
D - Уља за компресоре за ваздух	Минерална уља, синтетичка уља и течности	Против оксидације, против рђања
D - Уља за компресоре за хлађење	Минерална уља, синтетичка уља и течности	
Е - Уља за моторе СУС	Минерална уља, синтетичка уља, биљна уља	Против оксидације/корозије, детерџенти/дисперзанти, импрувери вискозности, депресанти, против хабања и пењења
F - Уља за лежаје	Минерална уља рафинисана	Против корозије, против оксидације, против хабања
G - Уља за клизне вођице	Минерална уља	Модификатори трења, против оксидације, против корозије, против хабања
Н - Течности за хидрауличке системе	Високо рафинисана минерална уља, синтетичке течности и уља, хемијски раствори, емулзије	Против оксидације, против рђања и хабања, импрувери вискозности, против пењења емулгатор
Т - Уља за турбинске системе	Високо рафмисана минерална уља	Против оксидације, против корозије
М - Средства код механичке обраде метала	Минерална уља, синтетичка уља и течности, хемијски раствори, емулзије	Против хабања, за повишене притиске, модификатори трења, емулгатор, бактерицид

Табела 6.2. Састав основних фамилија течних мазива

У оквиру сваке категорије, зависно од потреба и услова коришћења, производе се уља са различитом величином вискозности. У циљу унификације течних мазива са гледишта основне флзичке карактеристике, ISO организација је 1975. године објавила, а 1992. године извршила допуну поделе индустријских уља према вискозности [13]. У прорачунима где се величина вискозности јавља као један од параметара, пожељно је да њена вредност не одступа више од $\pm 10\%$ од номиналне вредности, те је ISO

Класификација уља и мазива код механичких преносника

класификација усвојила овај захтев, тако да је најмању и највећу вредност вискозности за посматрану вискозитетну групу утврдила у тим границама (таб. 6.3). Надаље, дата класификација обухвата широк опсег вискозности неопходан да покрије све захтеве мазива за индустрију. Наведени фактори су утицали на појаву дисконтинуитета и области вискозности које нису покривене поделом. Величина вискозности се изражава на 40°C, на температури која се веома често јавља као радна температура код многих елемената и склопова машина у индустрији.

Вискозитетна група (VG)	Средња вредност вискозности mm^2/s на 40°C	Границе вискозности, mm^2/s на 40°C најмање највише	
VG 2	2,2	1,98	2,42
VG 3	32	2,88	3,54
VG 5	4,6	4,14	5,06
VG 7	6,8	6,12	7,48
VG 10	10	9,0	11,0
VG 15	15	13,5	16,5
VG 22	22	19,8	24,2
VG 32	32	28,8	35,2
VG 46	46	41,4	50,6
VG 68	68	61,2	74,8
VG 100	100	90	110
VG 150	150	135	165
VG 220	220	198	242
VG 320	320	288	352
VG 460	460	415	508
VG 680	680	612	748
VG 1000	1000	900	1100
VG 1500	1500	1350	1650
VG 2200	2200	1980	2420
VG 3200	3200	2880	3520

Табела 6.3. ISO подела течних мазива према вискозности

Класификација уља и мазива код механичких преносника

Код техничких масти присутне су различите поделе које такође указују на примену или својства масти. Уобичајено су масти подељене према:

-намени - на масти за котрљајне лежаје, масти за пумпе за воду, отворене зупчанике, затворене зупчасте преноснике, масти за ужад, ланце итд.,

-врсти уљне компоненте - на масти са минералним уљима и масти са синтетичким уљима,

-дозвољеној температури употребе-на високотемпературне, нормалне и ниско температурне масти и

-могућностима употребе - на вишенаменске, нормалне и специјалне.

Поред наведених класификација, све масти сапунске основе су подељене и према конзистенцији, која се изражава пенетрационим бројем (таб. 6.4.). Поделу према конзистенцији извршио је амерички Национални институт за мазиве масти (NLGI). У наведеној табlici назначена је и основна употреба масти са гледишта конзистенције. У централним системима подмазивања користе се, са гледишта конзистенције, масти NLGI броја 00, 0 и 1. Масти мање конзистенције тј. већег пенетрационог броја употребљавају се често за подмазивање спороходних зупчастих преносника са великом редукцијом. Најчешће су у употреби масти NLGI бројева 1,2 и 3.

NLGI број	Пенетрациони број, (1 /10) mm	Намена
000	447-475	Зупчasti преносници, проточна подмазивања, централни системи
00	400-430	
0	355-385	
1	310-340	Котрљајни и клизни лежаји, осовинице, зглобови, ужад и ланци
2	265-295	
3	220-250	
4	175-205	Клизни лежаји мале брзине
5	130-160	
6	85-115	

Табела 6.4. NLGI подела техничких масти

7. ПОДМАЗИВАЊЕ МЕХАНИЧКИХ ПРЕНОСНИКА

7.1. Зупчасти преносници

Зупчасти парови су компоненте које су веома заступљене у многим механичким системима због своје високе механичке корисности и поузданог рада. Њихов задатак је да ускладе учестаност обртања и обртни момент погонских и радних делова машина и опреме. Другим речима, помоћу зупчастих парова, тј. зупчастих преносника мења се број обртаја/обртни момент. Према месту уградње, зупчасти преносници се деле на индустријске преноснике (редукторе) и преноснике моторних возила и механизације (мењаче и погонске мостове). Према томе да ли су зупчаници уграђени у затворена кућишта или не, зупчасти преносници се деле на затворене и отворене, што условљава и примену различитих мазива и поступака подмазивања.

Зупчаници се израђују од различитих материјала као што су полимерни и композитни материјали за преношење кретања при незнатним оптерећењима, од обојених метала, сивог лива и различитих врста челика [14]. У општој машинској техници највећу примену имају зупчаници од челика и сивог лива, док се код пужних преносника пужни точак израђује од бронзе и легуре цинка. Избор металних материјала за зупчасти пар је одређен са два основна захтева. Материјал мора да има одговарајућу чврстоћу на замор при савијању и отпорност на површински замор бокова зуба зупчаника.

Зупчасти преносник се састоји од најмање два вратила, најмање два спрегнута зупчаника и неопходних лежаја. Мењачи додатно имају и елементе за синхронизацију промене броја обртаја.

Утицај подмазивања на поузданост, степен корисности и век зупчаника је технички јасно одређен, што потврђују и новији ISO и DIN стандарди за прорачун зупчаника [15, 16].

Очекивани век зупчаника зависи од најмање четири фактора:

- отпорности на адхезивно и абразивно хабање које је одређено карактеристикама мазива, храпавошћу површина и присутним нечистоћама у систему;
- отпорности на лом, као функције материјала зупчаника, критеријума прорачуна и оптерећења;
- отпорности на површински замор (питинг), који зависи од тврдоће зуба и под одређеним је утицајем од врсте мазива и врсте, тј. режима подмазивања;
- отпорности на корозију коју одређују материјал зупчаника, мазиво и радни услови.

Анализом утицајних величина може се утврдити да је мазиво присутно у три од четири наведена фактора који ограничавају век зупчаника. Због тога национална удружења као што су то AGMA у САД, Друштво триболога Немачке, као и велики произвођачи зупчастих преносника издају своје спецификације и препоруке у којима дефинишу критеријуме за избор мазива и подмазивање зупчаника.

Да би се обезбедило ефикасно подмазивање зупчаника потребно је да се поседују основна знања триболошких импликација на конструкцију, тј. да се анализирају услови који настају на спрегнутим површинама зуба зупчаника у релативном кретању како би се утврдио захтев за карактеристикама мазива. Већина врста зупчаника преноси снагу преко релативно мале површине додира, познате у теорији као линијски додир (таб.7.1).

Класификација уља и мазива код механичких преносника

С обзиром на то да су површине додира мале, на тим местима владају високи напони, који су одговорни за појаву потпуног или непотпуног подмазивања.

Положај оса вратила	Врста зупчастог пара	Материјал	Теоријски додир зуба	Шематски приказ додира	Фактор клизања
Паралелне	Цилиндрични зупчасти пар са правим и косим зупцима	Ѓ/Ѓ	Линија		0,1-0,6
Секу се	Конусни зупчасти пар са правим и спиралним зупцима				
Нормалне и мимоилазе се	Хипоидни зупчасти пар	Ѓ/Ѓ	Линија		0,6-0,7
	Пужни зупчасти пар	Ѓ/бронза			0,7-1
Непаралелне које се мимоилазе	Вијачни зупчасти пар	Ѓ/бронза	Тачка		0,6-0,7

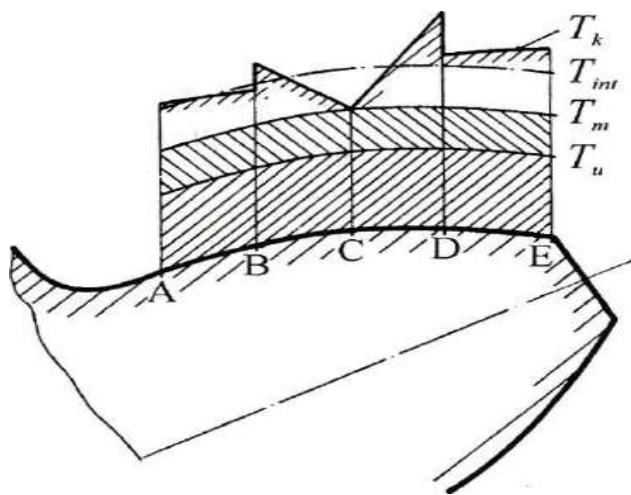
Табела 7.1. Врсте зупчастих парова

Најповољнији услови подмазивања се јављају у области кинематске линије. У осталим областима додирне површине услови подмазивања се погоршавају због повишене радне температуре (сл. 7.1.).

Мазива за проточна подмазивања намењена су претежно одређеним конструкцијама код којих се као елементи јављају отворени зупчаници, ужад, ланци, затим за лако оптерећене делове машина, као и за места која немају посебне захтеве са гледишта подмазивања.

Остварена дебљина слоја мазива има битног утицаја на појаву површинског замора, а тиме и на трајност површина и степен корисности зупчастог пара. Са порастом дебљине слоја мазива, тј. релативне дебљине слоја, расте и отпорност на питинг. Код мешовитог и граничног подмазивања постоји опасност од појаве тешког адхезивног хабања (изједања, енг. »scuffing«). Ризик од изједања се мења са својствима материјала

зупчаника, коришћеним мазивом, храпавошћу бокова зуба, брзином клизања и оптерећењем. Тешко адхезивно хабање или изједање се јавља као резултат високог механичког и термичког напрезања, што доводи до разарања слоја мазива и директног контакта бокова спрегнутих зуба са последицом високих температура површина зуба. Због тога се као меритома величина, која одређује вероватноћу појаве изједања, усваја температура контакта. У већини случајева отпорност на изједање се може повећати коришћењем мазива са изразитим ЕР својствима. Међутим, треба запазити да ЕР адитиви присутни у мазиву могу да делују и негативно, као нпр. да изазову корозију бакра, кртост заптивних елемената и друге нежељене појаве, што је посебно значајно код пужних преносника.



T_k - Температура контакта
 T_{int} - Интегрална температура
 T_m - Температура масе зуба
 T_u - Температура уља

Слика 7.1. Карактеристичне температуре бока зуба зупчаника

7.1.1.Избор мазива и подмазивање зупчастих парова

Избор врсте и карактеристика мазива зависи од врсте зупчаника, радних брзина и оптерећења, температуре околине и поступка подмазивања. Оптимално мазиво за сваку посматрану апликацију зупчастог пара је оно које обезбеђује мало хабање и ниске радне температуре, а тиме и дуг век рада преносника. При разматрању подмазивања зупчастих парова обично се прави разлика између затворених и отворених преносника.

Већина затворених зупчастих преносника, у које се као најважнији убрајају редуктори и мењачи, подмазују се течним мазивима минералног или синтетичког порекла. Захтеви подмазивања код цилиндричних зупчаника са правим и косим зупцима, као и код коничних са правим и спиралним зупцима су веома слични. Код ових врста зупчаника величина оптерећења и брзине клизања не разликују се у великој мери, те су и захтеви за одређену вискозност течног мазива и садржај адитива против хабања скоро идентични. Код пужних преносника се јавља комбинација клизања и котрљања, а при већим редукцијама преовлађује клизање. Да би се смањили губици услед клизања и консеквентно побољшале перформансе пужних преносника, прави избор мазива је изузетно важан.

Уопштено, за подмазивање индустријских затворених преносника користе се, поред мазива специјално намењених редукторима позната под називом редукторска уља, и друге врсте течних мазива, као што су циркулациона, хидрауличка и турбинска, а понекад полутечна мазива мале конзистенције. Иста уља се примењују и код зупчастих преносника код бродских и железничких постројења. Најчешћи начин подмазивања поменутих преносника је потапањем (уљно купатило) или путем бризгања уља циркулационим системом, како је то приказано у табели 7.2., а у зависности од врсте зупчаника и обимне брзине.

Врста зупчаника	Уље	Тех. Маст
Цилиндрични и конични зупчasti парови	Уљно купатило за $v < 15 \text{ m/s}$ Бризгање за $v > 15 \text{ m/s}$	Урањање или напскавање за $v < 4 \text{ m/s}$
Пужни пар (пуж уроњен у уље)	Уљно купатило за $v < 12 \text{ m/s}$ Бризгање за $v > 12 \text{ m/s}$	Урањање за $v < 4 \text{ m/s}$
Пужни пар (пужни точак уроњен у уље)	Уљно купатило за $v < 8 \text{ m/s}$ Бризгање за $v > 8 \text{ m/s}$	Урањање за $v < 1 \text{ m/s}$

Табела 7.2. Избор мазива и поступака подмазивања за зупчaste парове

7.1.2. Уља за механичке зупчaste преноснике

Под називом уља за механичке зупчaste преноснике подразумевају се различите категорије течних мазива које се користе за подмазивање елемената преносника снаге као што су зупчаници, котрљајни лежаји и елементи за синхронизацију.

Слично моторним уљима и она се деле према величини вискозности (SAE подела J306) према намени и условима рада мењача и диференцијала (API класификација).

Сагледавајући значај величине вискозности у процесу подмазивања зупчаника, посебно при ниским и високим температурама, SAE организација је предложила поделу уља за мењаче и диференцијале по вискозности, која је широко прихваћена у свету. Последња подела издата 1998. године са практичним важењем од 2000. године под ознаком SAE J306 садржи, у односу на претходну, две нове групе означене као SAE 80 и SAE 85 (таб. 7.3). Нова класификација је резултат захтева произвођача и корисника преносника за што поузданији рад, смањење механичких губитака и трајно подмазивање. Увођењем нових група отклоњена је и конфузија везана за мултиградна уља дефинисана као SAE 75W-80W или SAE 75 W -85W. Надаље, развој мазива за трајно подмазивање механичких преносника поставио је захтев и потребу да се утврди стабилност вискозности. Због тога је у новој подели уведен TRB (Tapered Roller Bearing) тест којим се одређује промена вискозности након излагања уља смицању. Ова подела и захтеви које она поставља, а посебно увођење TRB теста има утицаја на будуће формулације мазива и то посебно са гледишта избора адитива импрувера, као и избора врсте и величине вискозности базног уља.

Класификација уља и мазива код механичких преносника

Ознака SAE групе	Највећа температура у °C при вискозности од 150 000 mPas	Кинематска вискозност на 100 mm ² /s	
		најмања	највећа
70W	-55	4,1	-
75W	-40	4,1	-
80W	-26	7,0	-
85W	-12	11	-
80*	-	7	11
85*	-	11	13,5
90*	-	13,5	24
140*	-	24	41
250*	-	41	-

*Вискозност уља треба да остане у оквиру групе након TRB теста (CEC L-45-A-99)

Табела 7.3. Класификација уља за зупчасте преноснике према вискозности

Подела уља за зупчасте преноснике према квалитету дата од API обухвата категорије мазива са ознакама GL-1, GL-4, GL-5 и једну ознаку MTI као валидне. Најширу примену у САД имају категорије GL-4, GL-5 и MTI. Европски произвођачи, такође, користе API поделу да дефинишу неопходан квалитет (таб. 7.4.), али уводе и спецификацију под општом ознаком MTF (Manual Transmission Fluid).

Врста возила	Садашње стање	Будућа мазива
Путничка, механички мењачи	GL4	MTF (трајно подмазивање)
Комерцијална, механички мењачи	GL4	GL4 (продужени век употребе)
Комерцијална, погонски мост	GL5	GL5 (продужени век употребе)

Табела 7.4. Најзначајније врсте уља према квалитету за мех. мењаче степена преноса у Европи

7.1.3. Индустијски зупчасти преносници

Индустијски зупчасти преносници користе се у свим важнијим областима производње машина и процесној индустрији. Примери укључују рударство, челичане и ваљалнице, производњу аутомобила и других возила, производњу машина алатки,

папирну, гумарску, хемијску и прехранбену индустрију, али и многе друге. Највећу примену код поменутих преносника имају цилиндрични, конусни, као и пужни зупчаници. Индустријски зупчasti преносници се деле на отворене и затворене.

Отворени зупчasti преносници употребљавају се код рударске опреме, у цементној индустрији, код мостова, кранова итд. Зупчаници код тих машина и уређаја су спороходи, са обимним брзинама на кинематском кругу од око $2,5 \text{ m/s}$, а највише до 10 m/s , релативно високо оптерећени, тако да се у тим условима остварује најчешће, гранично подмазивање (ГП). Због тога се за подмазивање отворених зупчастих преносника користе мазива која имају изразита адхезивна својства, течна мазива велике вискозности и техничке масти са адитивима [17]. Процена постигнуте врсте подмазивања врши се прорачуном релативне дебљине слоја мазива. Најчешће се користи поступак проточног подмазивања.

Затворени зупчasti преносници су чешће у употреби, покривајући широк опсег могућих радних оптерећења, брзина и температура. То значи да су и мазива која се користе за њихово подмазивање изложена веома различитим условима рада. Веома често, мазива раде у присуству воде, контаминираној средини са великим оптерећењем и брзинама.

За подмазивање индустријских затворених зупчастих преносника данас се користе претежно течна мазива минералне основе, док су синтетичка уља и друга мазива (полутечна и чврста) значајно мање заступљена.

Две основне тенденције које имају утицаја на формулације савремених уља за индустријске зупчaste преноснике су:

- повећани захтеви корисника за смањење трошкова одржавања. То захтева дужи период употребе, што истовремено смањује трошкове уклањања истрошеног мазива;

- промене у конструкцији са циљем повећања ефикасности преносника. Као резултат, преносници су све мањих димензија, раде са све већим брзинама и оптерећењима, што доводи до високих радних температура. Мањи преносници значе и мање уљно пуњење и високо термичко и механичко оптерећење уља за подмазивање.

У циљу задовољења наведених захтева, мазива морају да поседују продужен век употребе, повећану термичку стабилност, побољшана ЕР својства на високим температурама и отпорност на утицај контаминаната.

7.1.4.Избор уља за затворене зупчaste преноснике

Према перформансама и примени, разликују се следеће три групе уља за индустријске затворене зупчaste преноснике: са адитивима инхибиторима оксидације и корозије, компаундирана и ЕР уља. Уља са адитивима против оксидације и корозије су обично минерална уља. Користе се као циркулациона уља за подмазивање многих лако оптерећених зупчастих преносника који не захтевају ЕР мазива. Компаундирана уља су блендирана минерална уља са 3 до 10% масних уља, као модификатора трења и са адитивима против оксидације, рђања и пењења. Претежно се користе код пужних преносника. За ЕР уља се, такође, већином користе минерална базна уља која садрже ЕР адитиве за заштиту зупчаника и других елемената преносника од различитих врста хабања, пре свега адхезивног. Поред ових уља, која су специјално произведена за потребе подмазивања зупчастих редуктора (тзв. редукторска уља), значајну примену код индустријских преносника различитих машина имају и друге фамилије мазива (таб. 7.5.).

Фамилија/врста мазива	Вискозитетна група (VG)	Намена
Редукторска уља са адитивима против оксидације и рђања, а по потреби и модификаторима трења	46 до 220	Цилиндрични зупчаници (са правим и косим зупцима) средњих и великих бројева обртаја; пужни преносници великих брзина
	320 до 680	Спороходи цилиндрични зупчаници; пужни преносници
Турбинска уља	32 до 100	Преносници код турбина и други са великим брзинама са сличним захтевима; планетарни преносници
Хидрауличка уља	32 до 150	Преносници великих брзина као и други код којих је основни погонски захтев чисто уље или са адитивима која се користе код уља за хидрауличке системе
Редукторска уља са ЕР адитивима	46 до 680 (1000)	Цилиндрични зупчаци преносници (са правим и косим зупцима), конусни и пужни преносници код којих постоји захтев за ЕР уљима
Синтетичка уља за зупчасте преноснике	46 до 1000	Пужни преносници са повећаним термичким оптерећењем

Табела 7.5. Општа препорука за избор уља за затворене зупчасте преносике

7.1.5.ISO подела и спецификације мазива за индустријске зупчасте преноснике

Широка примена зупчастих преносника и различити услови рада утицали су на формулације већег броја категорија мазива за њихово подмазивање. Према SRPS ISO 6743-6(ISO 6743-6) разликује се 11 категорија мазива, од којих су 7 намењене затвореним зупчастим преносницима, тзв. редукторска уља, а 4 за отворене преноснике (таб. 7.6. и 7.7.).

Ознака категорије	Својства / Намена
ISO-L-CKB	Минерална уља оксидационо стабилна са адитивима против корозије и пењења / Преносници који раде при лаким условима
ISO-L-CKC	Минерална уља категорије СКВ са побољшаним ЕР својствима и својствима за спречавање хабања / Преносници који раде при устаљеној и нормалној температури уља, а повећаном оптерећењу
ISO-L-CKD	Мазива категорије СКС са побољшаном термичком и оксидационом стабилношћу / Преносници који раде при устаљеној и високој температури уља, и великим оптерећењем
ISO-L-CKE	Минерална уља категорије СКВ са модификаторима трења. Преносници који раде са великим трењем (пужни преносници)
ISO-L-CKS	Мазива оксидационо стабилна, са погодним својствима трења и против корозије / Преносници који раде при врло ниским, ниским или веома високим устаљеним температурама мазива, а при малим оптерећењима
ISO-L-CKT	Мазива категорије СКС погодна за екстремне температуре и велика оптерећења / Преносници који раде при врло ниској или врло високој устаљеној температури мазива и великим оптерећењима
ISO-L-CKG	Техничке масти са ЕР и адитивима за спречавање хабања / Зупчаници који раде при лаким условима, обично велике редукције

Табела 7.6. Класификација мазива за редукторска уља

Ознака категорије	Својства / Намена
ISO-L-CKH	Мазива на бази битумена / Преносници са цилиндричним и конусним зупчаницима који раде при средњим температурама околине и лаким условима
ISO-L-CKJ	Мазива категорије CKH са побољшаним EP и својствима за спречавање хабања / Преносници који раде при средњим температурама околине и повећаним оптерећењима
ISO-L-CKL	Техничке масти са EP и својствима за спречавање хабања, повећане термичке стабилности / Преносници са цилиндричним и конусним зупчаницима који раде при високим температурама околине и са великим оптерећењем
ISO-L-CKM	Мазива са побољшаним својствима у односу на заривавање / Преносници који раде са изузетно великим оптерећењем

Табела 7.7. Класификација мазива за отворене преноснике

Спецификације за уља намењена подмазивању затворених зупчастих преносника у индустрији, дефинисане су од стране ISO организације стандардом ISO 12925-1/96. Наведени стандард обухвата следеће категорије уља: CKB, CKC, CKD, CKE, CKS и CKT. У оквиру сваке категорије стандард предвиђа уља са различитим величина вискозности од VG 32 до VG 1500, мада се у пракси користе и уља веће вискозности (нпр. VG 2200).

Спецификације мазива за индустријске отворене преноснике нису још издате од стране ISO организације. Због тога се у литератури наводе, и у пракси користе као меродавни захтеви које прописују најзначајнији произвођачи опреме и међународна удружења. Међу њима се најчешће цитирају US Steel 226 и 236, AGMA 9005-D94 (раније 251.02), Б-Е, В-Е, Marion, P&H и друге спецификације [18, 19].

У многим случајевима отворени зупчасти преносници раде у неповољним условима околине као што су абразивна средина или корозиона атмосфера, што указује на тешке услове подмазивања. Због тога мазива за отворене зупчанике морају да задовоље низ захтева различитих од оних за затворене. Од мазива се захтева изузетно добра прионљивост, велика моћ ношења слоја мазива, добра заштита од корозије, смањење буке и вибрација.

7.1.6. Основне карактеристике мазива за подмазивање зубаца зупчаника

За подмазивање зубаца зупчаника примењују се следеће врсте мазива и то:

1. чврста мазива код збаца зупчаника који се крећу брзинама до $3(m/s)$ (најчешће примењено мазиво је легирана маст са адитивом молибдендисулфида),
2. техничке масти (течна мазива) код зубаца зупчаника који се крећу брзинама до $2,5(m/s)$ и
3. уља (минерална и синтетичка).

Да би се извршио правилан избор мазива за подмазивање зубаца зупчаника, неопходно је класификовати карактеристике које мазиво мора да поседује као би процес подмазивања био оптималан. Задовољење ових карактеристика мазива доводи до правилног избора мазива а тиме и до правилног подмазивања. У ове карактеристике мазива спадају:

- да буде стабилно у експлоатацији тј. да задржи своја хемијска и физичка својства при промени брзине струјања, радне температуре и притиска,
- да има добра мазива својства,
- да има добру топлотну проводљивост,
- да има малу промену вискозности са променом температуре и притиска у случајном опсегу,
- да је отпорно на појаву пене и стварања емулзије (мешање са водом),
- да има добру отпорност према старењу и оксидацији,
- да је што мање активно према гуми (гуменим заптивкама), металима, пластичним масама, заштитним премазима и сл. и
- да не садржи чврсте примесе.

Поред набројаних основних карактеристика које мора да испуни мазиво за правилан његов избор у технологији подмазивања зубаца зупчаника, потребно је обратити пажњу и на две основне карактеристике радне течности у које спадају:

- брзина издвајања ваздуха, која показује којом ће се брзином ваздушни мехурићи појавити на површину течности (уља) за подмазивање и
- својство радне течности да се пенуша, тј. брзина разбијања мехурића издвојених на површини течности за подмазивање (уља) у облику пене.

7.2. Ланчани преносници

Ланчани преносници су механички преносници код којих се пренос снаге остварује савитљивим елементима – ланцима. У саставу једног ланчаног преносника, поред ланаца, налазе се и ланчаници, уређаји за затезање и подмазивање.

Користе се у:

- пољопривредним машинама,
- грађевинским машинама,
- дизалицама и транспортним машинама,
- текстилним машинама
- графичким машинама
- опреми за бушење нафте
- саобраћајним средствима (бициклима, мотоциклима, моторима) итд.

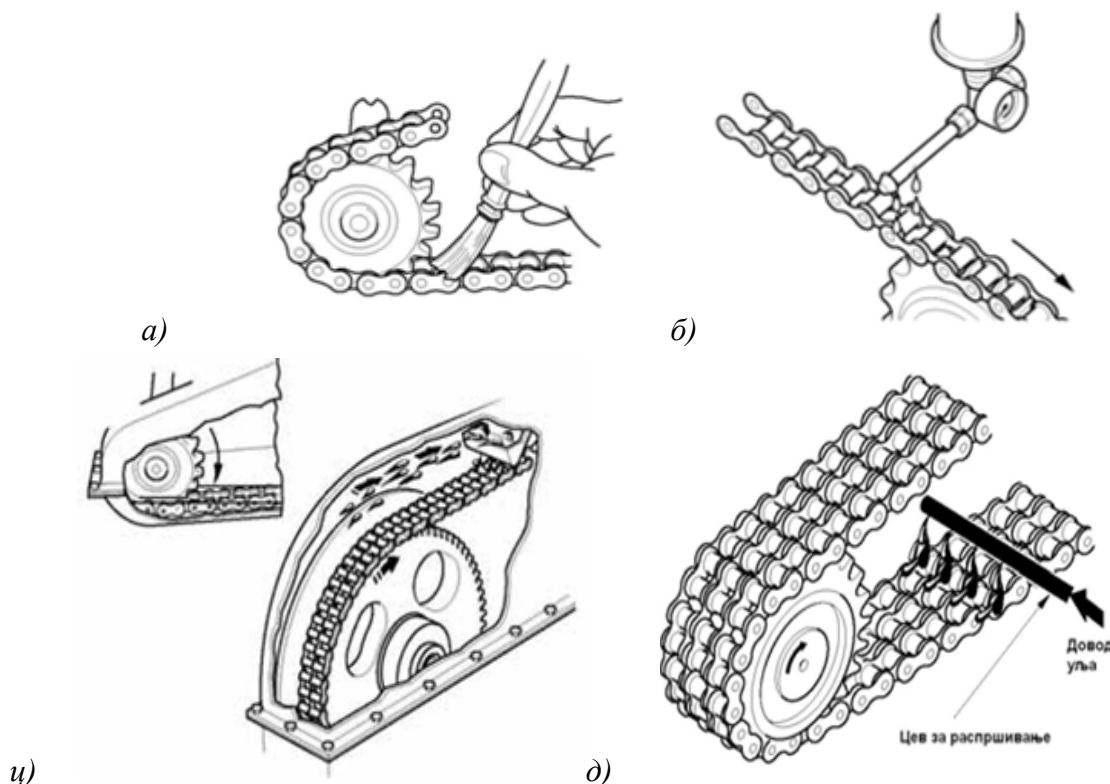
Механизам спрезања ланчаног преноса, као и конфигурација трибомеханичких система, условљава да на хабање ланца утиче велики број фактора. Један од битних фактора који утичу на хабање, правилан рад и век трајања ланца, је несумњиво и подмазивање.

Статистичка истраживања показују да скоро 60% свих оштећења ланца је углавном изазвано неподесним системом подмазивања и подмазивањем неодговарајућим мазивима.

Један од најважнијих услова за остваривање жељеног века преносника је подмазивање. Правилним подмазивањем повећава се отпорност на хабање и издржљивост ланца, а такође се ублажују удари чланака о зглоб ланчаника и смањује температура загревања ланца. Затворена конструкција зглоба отежава продирање мазива у област контактних површина, тако да чак и при обилном довођењу мазива, зглоб најчешће ради у условима граничног подмазивања. Добро подмазивање повећава степен корисног дејства, смањује загревање ланца, шум ланчаног преноса и продужује век трајања.

У зависности од услова рада и димензија ланчаног преноса, примењују се следећи начини подмазивања:

- 1-периодично подмазивање ручном мазалицом или четкицом,
- 2-непрекидно подмазивање капањем,
- 3-картерско и центрифугално подмазивање и
- 4-подмазивање под притиском



Слика 7.2. Начини подмазивања ланчаних преносника
а) подмазивање ручном мазалицом или четкицом,
б) подмазивање капањем,
ц) картерско и центрифугално подмазивање
д) подмазивање под притиском

Периодично подмазивање ручном мазалицом или четкицом се примењује код преносника малих брзина. Код примене оваквог начина подмазивања, неопходно је да мазиво продре у сваки зглоб, било кроз зазоре спољашње и унутрашње ламеле, било кроз зазоре унутрашње ламеле и ваљка. За довољно подмазивање потребно је доста времена, па је чак и тада веома тешко обезбедити равномерно подмазивање.

Непрекидно подмазивање капањем је најраспрострањенији начин подмазивања који даје добре резултате. Подмазивање се остварује мазалицом постављеном на кућиште преносника.

При већим брзинама боље резултате даје картерско подмазивање, које се састоји у потапању ланца у мазиво до висине ламеле. Дубље потапање изазива пенушање уља, повећање температуре и допунске отпоре кретању ланца.

За ланчане преноснике који раде под највећим брзинама, препоручује се циркулационо подмазивање под притиском.

Ланци се најчешће подмазују течним мазивима, зато што је њихова способност продирања у зглоб највећа. Најбоља су минерална уља са додатком адитива чија вискозност зависи од притиска у зглобу, брзине ланца и температуре околине. Савремене тенденције коришћења ланаца у условима све већих оптерећења, захтевају да и савремена технологија подмазивања поставља све оштрије захтеве мазивима.

Подмазивање ланаца тврдим мазивима је оправдано у условима присуства абразивних честица у радној средини, као и у случајевима отежаног подмазивања течним мазивима. Тврда мазива у низу случајева поседују боље особине и од мазивих уља, па се могу користити и у условима максималних оптерећења или великих брзина.

Ланци се подмазују и комбинацијом трдих мазива и минералних уља (на пример чисто минерално уље са 10% графита или 10% MoS_2).

По завршеној изради, а пре испоруке, ланци се конзервирају посебним средствима-конзерванима. Конзервани спречавају корозију ланца, а истовремено служе и као средства за подмазивање у периоду уходавања. Ово је посебно значајно код отворених преносника, где конзервани служе за подмазивање ланаца у току целог периода експлоатације.

Проблеми конзервирања и подмазивање отворених ланчаних преносника спадају у ред проблема посебних важности, тим више што велики број ланаца раде у условима отвореног преноса. [20]



Слика 7.3. Аутоматски систем за подмазивање ланаца



Слика 7.4. Подмазивање ланца спрејем за подмазивање



Слика 7.5. Подмазивање ланца ланчаником

7.3. Кардански преносници

Кардански преносници служе за механички пренос снаге и кретања између вратила која мењају положај оса у процесу експлоатације или су постављена под извесним углом. Нагли развој карданских механизма и њихова све већа примена настаје са развојем пољопривредног и транспортног машинства.

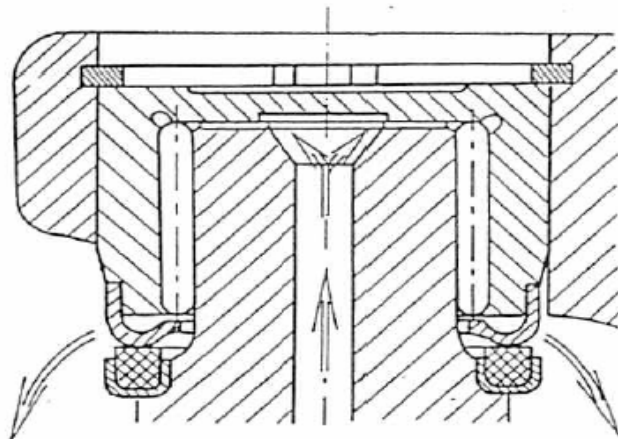
Данас кардански механизми имају широку примену у машинству, примењују се у :

- транспортним и пољопривредним машинама
- аутомобилима и локомотивама
- радиоелектронским уређајима
- машинама алаткама
- бушилицама и пумпама нафтне индустрије
- управљачким машинама авиона и хеликоптера
- дрвној и текстилној индустрији итд

Век трајања и експлоатационе карактеристике карданских преносника зависе од изабраног материјала елемената, њихове термичке обраде, тачности израде, монтирања али и од подмазивања.

Површине карданских вратила које учествују у клизању и котрљању, неопходно је подмазивати и осигурати од истицања уља, а такође и од продирања прашине и абразивних честица.

Конструкција крстасте осовине је изведена тако да омогућује подмазивање сва четири лежаја крста, помоћу мазалице смештене на крстастој осовини (сл.7.1.).



Слика 7.6. Подмазивање карданских преносника

За подмазивање је могуће користити литијум сапонифициране масти или хипоидна уља домаћих и страних произвођача, мале вискозности (SAE 90 и SAE 140).

Боље резултате у подмазивању игличастих лежајева дају конзистентна мазива, јер поседују боља антикорозиона својства, адхезиона својства, као и довољну чврстоћу мазивог слоја, чиме се смањује вероватноћа појаве скоринга. Век трајања лежајева подмазиваних трансмисионим уљима је приближно 1,5 до 1,7 пута мањи од века трајања лежајева подмазиваних одговарајућим мастима. Још бољи резултати се постижу повећањем квалитета обраде рукавца.

Коефицијент трења челика који се јавља у жљебном споју, који се јавља при телескопирању карданског вратила, зависи од квалитета подмазивања. У случају недовољног подмазивања или присуства абразива коефицијент трења нагло расте, при томе расте и аксијална сила. Аксијална сила делује на међувратило карданског преносника и оптерећује лежајеве, кућиште и остале делове склопа. Зато је неопходно систематско подмазивање жљебног споја карданског преносника.

Ожљебљени спој се подмазује преко мазалице, постављене на телескопској виљушци. Правилним избором мазива, може се знатно смањити сила трења. Истраживања су показала да се највеће смањење коефицијента трења клизања у жљебовима постиже коришћењем графитне масти, уља за хипоидне зупчанике и трансмисионим ауто-тракторским уљима. Упоредјујући са широко коришћеним пластичним мазивима, ова мазива смањују силу трења више од 75%.

Ефикасно средство продужења века трајања високооптерећеног ожљебљеног дела вратила је примена тешкотопљивих пластичних мазива са додатком дисулфид молибдена. Жљебна вратила са молибденовим мазивом могу издржати већа оптерећења без задирања, него са обичним пластичним мазивима.

Телескопски део вратила се може подмазивати мастима за шасије (AL-MAS , ALS-5) или њима сличним мазивима.

Основни узрок смањења века трајања карданских спојева је образовање чепова у мазивим каналима, изазваних оксидационим процесима у уљу. Испитивања показују да се са повећањем вискозности, таложењем и растом чепова хабање рукаваца повећава.

Ефикасне методе у борби са појавом чепова су:

- претходно чишћење мазива,
- побољшање херметичности система подмазивања и
- примена конструкционих решења са проточним системом подмазивања.

Поједини произвођачи препоручују рокове за подмазивање у зависности од услова рада карданских преносника. Уколико преносници раде у отежаним условима интервали подмазивања се скраћују. [20]

7.4.Избор мазива за подмазивање механичких преносника према важећим стандардима

За подмазивање отворених преносника и једним делом затворених преносника са малим бројем обртаја, најчешће се користе чврста мазива и техничке масти, док се за подмазивање затворених механичких преносника искључиво користе уља. У погонској пракси за подмазивање механичких преносника углавном се користе два система за подмазивање зубаца зупчаника уљем и то: систем потапања зубаца зупчаника у уљно купатило и систем убризгавања тј. довођење уља под притиском помоћу мазалица (дизни) у међузубље зупчаника непосредно при њиховом спрезању.

Код подмазивања потапањем, зупчаник својим доњим делом урања у уљно купатило толико, да дубина потапања износи 1-5 модула зупчаника. Подмазивање потапањем се користи за обимне брзине зупчаника до 15 *m/s*.

Подмазивање убризгавањем уља се користи за веће брзине зупчаника и предност оваквог начина подмазивања се огледа у сталној циркулацији једног те истог уља у систем за подмазивање. Ово је врло битно са аспекта потрошње уља јер смањује потребу сталне замене уља. Да би овакав систем за подмазивање могао да функционише неопходно је да садржи следеће основне компоненте: погонски агрегат за обезбеђење сталне циркулације уља (циркулациону пумпу), систем за хлађење циркулационог уља (хладњак), цевни систем са арматуром за проток циркулационог уља (термометар и манометар). За правилно подмазивање зубаца зупчаника овим начином, неопходно је обезбедити да радна температура не прелази вредност 60-80°C, јер при већим температурама долази до брзог старења уља.

Треба рећи, да за подмазивање затворених зупчастих преносника код техничких система (машина) са малим пројем обртаја, користе се за подмазивање течне мазиве масти. Количина мазиве масти (полутечне масти) је одређена габаритом самог преносника, док се начин подмазивања изводи континуално тј. по принципу истом као код подмазивања уљем.

Препоруке за избор уља за подмазивање зубаца зупчаника се карактеришу вискозношћу уља у зависности од снаге и брзине механичког преносника. Приказ ових карактеристика је дат у табели 7.8. Горња напомена важи за подмазивање свих врста зупчаника на техничким системима (машинама) у општем машинству. Замену уља треба вршити сваких 1000-5000 часова рада у зависности од врсте оптерећења преносника. У периоду уходавања система (у почетном периоду рада тј. разрађивања система) замену уља вршити после сваких 20-30 часова рада. Поред основне наведене табеле о избору уља за зупчасте преноснике даје се и препорука избора мазива за отворене зупчасте преноснике према стандарду SRPS B. H3.270 - 274 (табела 7.9).

Препоруке избора начина подмазивања и врсте мазива зупчастих преносника на техничким системима биће приказане у табели 7.10. према стандарду ISO.

Класификација уља и мазива код механичких преносника

За подмазивање елемената механичких преносника снаге код моторних возила, рударско- грађевинских машина, пољопривредних машина користе се опште препоруке за избор мазива које су табеларно приказане у табели 7.11.

У табели 7.12. су приказане оријентационе вредности градације моторних уља и уља за мењаче и диференцијале према SAE градацији.

Обимна брзина зупчаника (m/s)	$Ft / (b \cdot mn)$		
	Ft – обимна сила на зупчанику, mn – модул зупчаника		
	12,5	12,5-30	30
0,5	0,135	0,274	0,410
0,5-2	0,720	0,135	0,274
2-6	0,049	0,720	0,135
6-12	0,036	0,049	0,720

Напомена: Уља за подмазивање зупчаника су легирана (уља са додатком ЕР адитива) и то за јака оптерећења и хипоидна уља веће носивости.

Табела 7.8. Подаци о вискозности уља η ($Pa \cdot s / 50^\circ C$) за подмазивање зубаца зупчаника

Врста мазива	Метода подмазивања
Мазива на бази битумена	Ручно подмазивање, четком
Мазива са растварачима који остављају чврст филм након испаравања	Ручно или аутоматско, напрскавањем
Уље високе вискозности са ЕР адитивима	Капањем, напрскавањем, континуално или повремено

Табела 7.9. Методе подмазивања у зависности од врсте мазива

Ознака мазива(уља)	Вискозност $t = 40^\circ C$	Индекс вискозности	Тачка паљења $^\circ C$	Тачка стињавања $^\circ C$
ISO L-CKC 68	68	95	220	- 25
ISO L-CKC 100	100	95	220	- 20
ISO L-CKC 150	150	95	220	- 18
ISO L-CKC 220	220	95	230	-15
ISO L-CKC 320	320	95	235	-12
SAE градација				
80 W	11	90	165	-27
80-90 W	14	95	180	-27
85-90W	17	95	180	-19
85-140W	26	90	200	-12
90 W	18	90	180	-19
140 W	31	80	210	-12

Напомена: Ово је група висококвалитетних уља са ЕР својствима за индустријске зупчасте преноснике који раде у области температура од $15-120^\circ C$. Користе се за подмазивање високо оптерећених преносника свих врста озубљења и оптерећења.

Табела 7.10. Препоруке

Класификација уља и мазива код механичких преносника

Возила	Механички мењачки преносници	Аутоматски мењачки преносници	Диференцијални (хипоидни) преносници	Диференцијални преносник (конични са лучним зупцима, пужни)
Путничка возила	SAE 80 (EP)* SAE 90 (EP) или мултиградно	Флуиди за аутоматске преноснике, ATF	SAE 90 (EP) или мултиградно	-
Теретна возила	SAE 80 (EP)* SAE 90 (EP) или мултиградно	SAE 80 (EP) за полуаутоматске мењаче, ATF флуид за аутоматске мењаче	-	SAE 140 или мултиградно

Напомена: При избору уља са EP адитивима мора се водити рачуна о компатибилности са материјалима од којих су израђени елементи мењача.

Табела 7.11. Препоруке

SAE градација (SAE број)	Степен Енглера °E	Назив вискозитетне градације
Код моторних уља SAE		
10 W (зимски услови)	2,5-3,35 / 50°C	Врло лако, зимско
20 W (зимски услови)	3,35-6,75	Лако, зимско
30 W (зимски услови)	3,34-6,62	Лако
40 W (зимски услови)	6,62-9,84	Средње
50 W (зимски услови)	9,84-14,20	Тешко
	14,20-21,80	Врло тешко
Код уља за мењаче и диференцијале SAE		
75 W	3,0-4,0 / 50°C	Врло лако
80 W	7,0-10,0	Лако
90 W	12,0-25,0	Средње
140 W	3,4-5,6 / 100°C	Тешко
250 W	изнад 5,6	Врло тешко

Напомена: SAE се одређује, за зимске услове на 0°F, а на 210°F код осталих уља.

Табела 7.12. Препоруке

AGMA број	ISO вискозна група	AGMA број	ISO вискозна група
1	46	6, 6EP	320
2, 2EP	68	7 comp, 7 EP	460
3, 3EP	100	8 comp, 8 EP	680
4, 4EP	150	8A comp	1000
5, 5EP	220		

Напомена: Сва уља садрже адитиве против корозије и оксидације. Групе 7 comp, 8 comp и 8A comp садрже од 3 до 10% масних уља.

Табела 7.13. Препоруке

Класификација уља и мазива код механичких преносника

Осно растоја- ње (mm)	Врста пужног преносника	Број обртаја пужа (o/min)	AGMA број		Број обртаја пужа преко (o/min)	AGMA број	
			Температура околине °C			Температура околине °C	
			-10 do 15	10 do 15		-10 do 15	10 do 15
до 150	Цилиндрични глобоидни	700 700	7 comp 8 comp	8 comp 8A comp	700 700	7 comp 8 comp	7 comp 8 comp
од 150 до 300	Цилиндрични глобоидни	450 450	7 comp 8 comp	8 comp 8A comp	450 450	7 comp 8 comp	7 comp 8 comp
од 300 до 450	Цилиндрични глобоидни	300 300	7 comp 8 comp	8 comp 8A comp	300 300	7 comp 8 comp	7 comp 8 comp
од 450 до 600	Цилиндрични глобоидни	250 250	7 comp 8 comp	8 comp 8A comp	250 250	7 comp 8 comp	7 comp 8 comp
изнад600	Цилиндрични глобоидни	200 200	7 comp 8 comp	8 comp 8A comp	200 200	7 comp 8 comp	7 comp 8 comp

Табела 7.14. AGMA препоруке за избор мазива за затворене пужне преноснике

AGMA (American Gear Manufactures Association), за индустријске зупчасте преноснике прописује 9 група уља за подмазивање индустријских зупчаника које по величини вискозности одговарају ISO групама од 46 до 1000. У табелама 13. и 14. извршена је AGMA подела уља за затворене зупчасте преноснике

8.ЗАКЉУЧАК

Коришћење мазива је неизбежан начин за решавање триболошких проблема код већине основних машинских елемената (зупчаника, клизних и котрљајних лежаја, зглобова, ужади, ланаца итд.), различитих машинских система (мотора СУС, пумпи, алатних машина, турбина, компресора и сл.), технолошких процеса обраде метала, као и »hi-tech« уређаја као што су компјутери и друга електронска опрема. Овако широка примена мазива је последица значајне зависности поузданости рада и века трајања поменутих елемената и система од ефикасности подмазивања њихових покретних делова.

Значај подмазивања може јасно да се сагледа ако се има у виду чињеница да преко 50 % свих оштећења и отказа у раду механичких система настаје због хабања и да је подмазивање најзаступљенији начин за смањење трења и хабања материјала.

Ефективност мазива зависи од многобројних, међусобно повезаних фактора, који опредељују утицај мазива на трење и хабање виталних делова машина и опреме. Они обухватају својства мазива и промене које настају у својствима током експлоатације, својства површина које су у контакту, карактер међусобног деловања компонената мазива и материјала површина, брзину, оптерећење, температуру и друге параметре режима рада [21]. То указује на сву сложеност проблема и истовремено на међусобну зависност развоја машина, њихових триболошких компоненти и мазива, што је посебно карактеристично за савремене механичке системе.

Временски посматрано 50-те и 60-те године прошлог века карактеришу се изузетним напретком у развоју мазива. Уводе се мултиградна моторна уља, високо рафинисана минерална базна уља, нови адитиви и синтетичка мазива. Средином 70-тих, које су праћене нафтним кризама, тренд се мења ка штедњи енергије и других ресурса, као и решавању нагомиланих проблема везаних за заштиту животне средине. У том периоду економски аспекти коришћења мазива, пре свега њихов утицај на штедњу енергије код машина, долазе још више до изражаја.

Крај прошлог и почетак овог века је период глобализације у свим аспектима технологије подмазивања (технологије производње мазива, испитивања, стандардизације, примене, екологије) кроз активности многих међународних организација формираних у Европи, Америци и Азији. Те активности су усмерене пре свега на [22]:

- ниже трошкове рада система у којима се користе мазива и
- заштиту околине.

Нижи трошкови рада система код којих се користе мазива могу да се постигну:

- продужењем интервала употребе мазива,
- нижим трошковима одржавања током целог радног века машина и
- употребом мазива за трајно подмазивање ("for-life" мазива).

Еколошки прихватљива мазива или тзв. "зелена" мазива су такође императив.

Еколошки проблеми се могу решавати:

- повећањем ефикасности коришћених мазива,
- смањењем и/или елиминацијом емисије и
- употребом брзо биоразградљивих мазива.

То значи да ће основа за карактеризацију будућих мазива бити комбинација економских и еколошких фактора

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rac, A., *Maziva i podmazivanje mašina*, Mašinski fakultet Beograd, 2007.
- [2] Розенберг, А., *Влияние смазочных масел на надежность и долговечность машин*, Машиностроение, Москва, 1970
- [3] Verčon, J., *Pogonske materije III deo- Maziva*, Mašinski fakultet, Beograd, 1975.
- [4] Константинеску, В.Н., *Газовая смазка*, Машиностроение, Москва, 1968
- [5] Willschke, A., Humbert, D. Und Rossi, A., *Synthetische Basisole für Niedrigviskose Motorenole*, Tribologie und Schmierungstechnik, 34, 2, 1987, 91-100
- [6] Lanktka, M.E., *Schmierung von Getrieben mit Synthetischen Schmierstoffen*, Tribologie und Schmierungstechnik, 34, 2, 1987, 101-107
- [7] Van der Waal, B. and Kenbeek, D., *Ester base Fluids for Automotive Lubricants*, 12th Int. Colloquium, Tribology 2000 Plus, Esslingen, 2000, Proceedings, 261-270
- [8] Стандарт ISO 4378/3
- [9] Rac, A., *Osnovi tribologije*, Mašinski fakultet, Beograd, 1991
- [10] Dowson, D. and Higginson, G.R., *Elastohydrodynamic Lubrication*, Pergamon Press, 1977
- [11] Vujaklija, M., *Leksikon stranih reči i izraza*, Prosveta, Beograd, 1980
- [12] JUS-katalog, SZS, Београд, 1998
- [13] Стандарт ISO 3448
- [14] Woodley, B.J., *Materials for Gears*, Tribology Int., 10, 6, 1997, 323-331
- [15] Стандарт ISO 6336, ISO/DTR 6336-4
- [16] Стандарт DIN 3990, Teil 4
- [17] Errichello, R., *Lubrication of Gears*, Part 4, Lub. Eng., 46, 4, 1990, 231-237
- [18] Samman, N. and Lau, S., *Grease-Based Open Gear Lubricants: Multi-Servis Product Development and Evaluation*, Lub. Eng., 55, 4, 1999, 40-48
- [19] Brown, O.T., Hildebrandt, A.K. and Slack, A. D., *Development of an Improved Open Gear Lubricant*, Lub. Eng., 47, 11, 1990, 957-963
- [20] Tanasijević S., *Mehanički prenosnici*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1994
- [21] Rac, A., *Pogonske materije III deo- MAZIVA*, Mašinski fakultet, Beograd, 1987.
- [22] Mang, T., *Lubricants for the Future*, Oil-Gas, 3, 1996, 26-30
- [23] <http://www.cheops-pyramide.ch/khufu-pyramid/sledge-tracks.html>
- [24] http://www.palco.co.in/history_of_lubricants.html
- [25] <http://www.goma.hr/>
- [26] <http://www.maziva.org/>
- [27] <http://www.tribology-abc.com>
- [28] <http://www.ninacom.co.rs>
- [29] <http://www.fzpkotor.co.rs>