

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Трибомеханички системи

Број индекса: 2029/2018

Ненад А. Николић

Трибомеханички системи рударско- грађевинске механизације

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др, Слободан Митровић - ментор

2. _____

3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да анализира трибомеханичке системе рударско – грађевинске механизације. У раду је потребно анализирати кварове и отказе склопова и компонената рударско – грађевинске механизације настале као последица хабања елемената. Потребно је навести мере и поступке који се спроводе да би сви склопови радили без застоја са што мање отказа.

Препоручена литература:

- [1] Трибомеханички системи – предавања др С. Митровић,
- [2] Основи трибологије машинских елемената, С. Танасијевић
- [3] Мониторинг уља за подмазивање, М. Бабић

Крагујевац, мај 2019

Ментор:

Др, Слободан Митровић - редовни професор

Садржај:

1. Резиме	2
2. Увод	3
3. Трибомеханички систем	4
4. Трење	6
5. Хабање	8
4.1. Адхезивно хабање	8
4.2. Абразивно хабање	9
4.3. Заморно хабање	9
4.4. Трибохемијско хабање	10
4.5. Вибрационо хабање (фретинг)	10
4.6. Ерозионо и кавитационо хабање	11
5. Подмазивање	12
5.1. Улога и подела мазива	14
6. Трибологија клизних лежајева	19
6.1. Врсте хабања клизних лежајева	21
7. Трибологија котрљајних лежајева	25
7.1. Врсте хабања котрљајних лежајева	26
8. Трибологија зупчастих преносника	32
8.1. Коефицијент трења	32
8.2. Силе трења и губици енергије у спрези	34
8.3. Номенклатура врста хабања и повреда зуба зупчаника	35
8.4. Најчешће врсте хабања зупчаника	38
9. Трибомеханичке карактеристике рударско грађевинске механизације	40
9.1. Откази техничких система настали као последица хабања елемената	43
9.1.1. Хабање елемената СУС мотора	44
9.1.2. Хабање елемената трансмисије	49
9.1.3. Хабање елемената ходног строја	51
9.1.4. Хабање елемената редуктора точка	54
9.1.5. Хабање елемената предњег диференцијала утоварне лопате	55
9.1.6. Хабање елемената редуктора погона булдозера	55
9.1.7. Хабање елемената редуктора погона хидрауличног багера	57
10. Централно подмазивање	58
10.1. Систем централног подмазивања грађевинских машина	58
10.2. Прогресивни разводник	60
10.2.1. Принцип рада прогресивног разводника	60
10.3. Пумпе за централно подмазивање	63
10.4. Управљачка јединица	65
11. Закључак	67
12. Литература:	68

1. Резиме

У раду су приказане трибомеханичке карактеристике рударско грађевинских машина које представљају скуп веома сложених трибомеханичких система састављених од низа подсистема који представљају, такође, сложене трибомеханичке системе. Приказане су врсте и механизми хабања као и подмазивање и врсте мазива. Приказане су триболошке карактеристике клизних и котрљајних лежачева као и зупчастих преносника који чине основне елементе у контакту. Посебана пажња је дата на системе за централно подмазивање, врсте, компоненте и принцип рада.

Кључне речи : трибомеханички систем, грађевинска механизација, систем централног подмазивања

Summary

The paper presents the tribomechanical characteristics of mining construction machines which are a set of very complex tribomechanical systems composed of a series of subsystems which also represent complex tribomechanical systems. Types and mechanisms of wear as well as lubrication and types of lubricants are shown. The tribological characteristics of sliding and roller bearings as well as toothed gears, which form the basic elements in contact, are shown. Particular attention has been paid to central lubrication systems, types, components and working principle.

Key words: tribomechanical system, construction machinery, central lubrication system

2. Увод

Рад на градилишту, или експлоатацији материјала из површинских и подземних копова је, данас, готово незамислив без грађевинских машина. Стандардне грађевинске машине за земљане радове су дозери, багери, скрејпери, утоваривачи, грејдери, ваљци, итд. Наведене врсте грађевинских машина за земљане радове међусобно се разликују по неким конструктивним карактеристикама и покретљивости, у зависности од врсте примене, специфичности технологије радова у којима учествују.

Грађевинска машина као техничко средство представља скуп веома сложених трибомеханичких система састављених од низа подсистема који представљају, такође, сложене трибомеханичке системе. Чине их сви склопови који учествују у преносу снаге, односно обртног момента од мотора, преко склопова трансмисије (мењача, разводника погона, диференцијала и осталих склопова), до извршних органа машине.

Веома је битно да сваки систем ради без застоја, са што мање отказа и поуздано односно да буде што мање ван функције. Отуда потиче и стална тежња за повећањем поузданости техничких система у процесу њиховог развоја, рада и одржавања. Јасно је да се то односи не само на целину, већ и на поједине саставне делове, подсклопове и склопове, односно на све елементе који учествују у интеграцији неког система. То посебно долази до изражаја ако се узме у обзир да вероватноћа безотказног рада сваке компоненте и склопа мултипликативно утиче на крајњу поузданост система као целине. Високи параметри поузданости битно смањују трошкове одржавања, што има посебан значај у контексту рационалности. Непоузданост повлачи за собом трошкове, изгубљено време ремонта-одржавања. Цена непоузданости не представља само цену техничког система који је отказао, већ обухвата и пратеће ефекте који су настали због отказа. При томе се морају узети у обзир и трошкови одржавања.

Отказ подразумева утрошак времена за дијагнозу и отклањање узрока, те време потребно за пратеће активности. При томе, свакако, треба урачунати цену резервног дела, трошкове његовог складиштења, трошкове транспорта, итд.

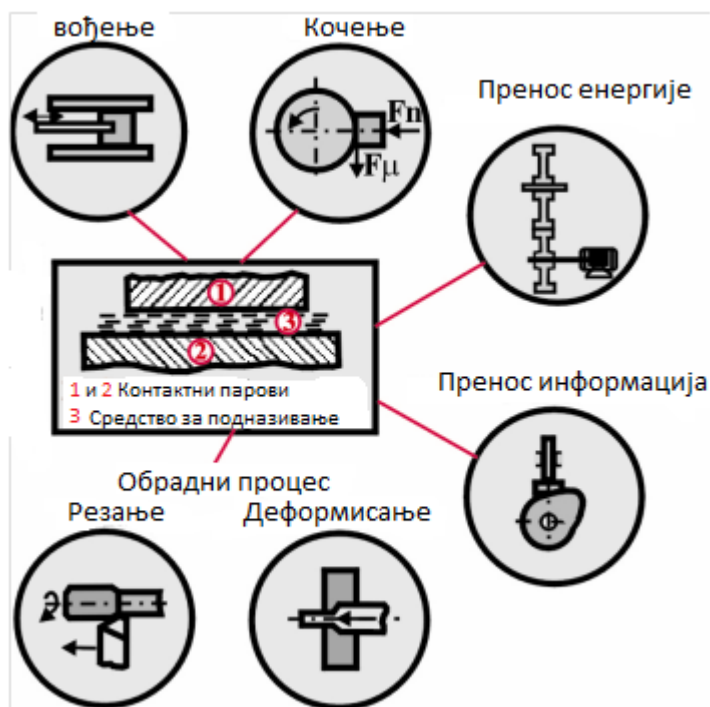
Време које је изгубљено због некоришћења система услед отказа неког од његових елемената може бити значајна ставка у оквиру целокупних трошкова.

3. Трибомеханички систем

Технички системи грађевинских машина, транспортних средстава, комплексних индустријских и других постројења и механизма, алата и инструмената различитих намена, без обзира на конструкцију, намену и степен развоја, имају заједничко својство да се састоје од већег или мањег броја покретних машинских елемената који се, зависно од карактера и облика контакта, као и функције у датом систему, могу сврстати у неколико карактеристичних група (слика 1) [1].

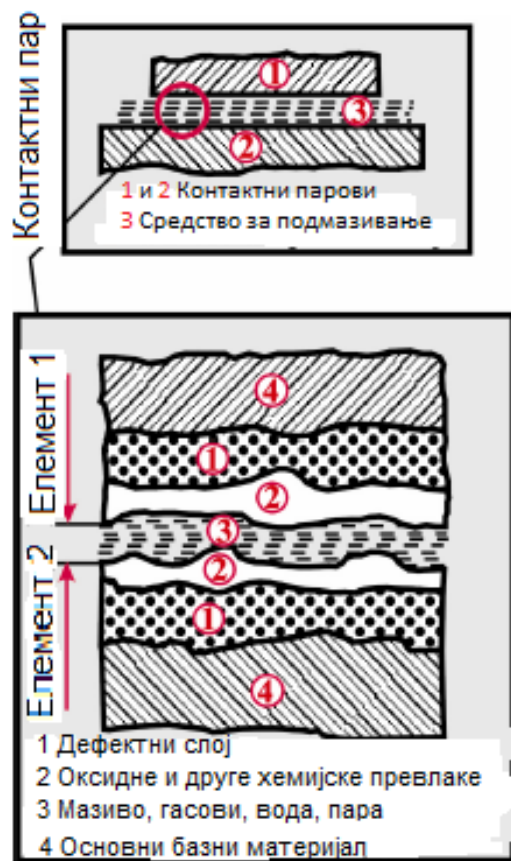
То су:

- Системи вођења елемената (клизачи, вођице, лајсне и др.),
- Системи за кочење елемената (кочнице са диском, траком и сл.),
- Системи за пренос енергије, снаге и кретања (зупчаници, каишници, вратила и др.),
- Системи за пренос информација (брегасти механизми, гранични прекидачи, итд.) и
- Процеси обраде (обрада резањем, деформисањем, заваривањем и сл.).



Слика 1. Контактни парови техничких система [1]

Систем дефинисан на овај начин може се приказати као трибомеханички систем (ТМС), чија је структура према DIN 50320 илустрована на слици 2, а чине је два елемента (1) и (2) у међусобном контакту који се остварује уз присуство средства за подмазивање (3) у условима дефинисаним оквирима окружења (4).



Слика 2. Структурна шема трибомеханичког система према DIN 50320 са одговарајућим слојевима као параметрима структуре ТМС [1]

Појам трибомеханичког система подразумева систем чија се функција састоји у претварању улазних величина у излазне, технички корисне, величине које се даље користе у процесу кретања и рада.

Процеси трења и хабања представљају неизбежне појаве површинских контаката елемената у релативном кретању и међусобном деловању и добрим делом детерминишу функционисање техничког система и одређују његов век.

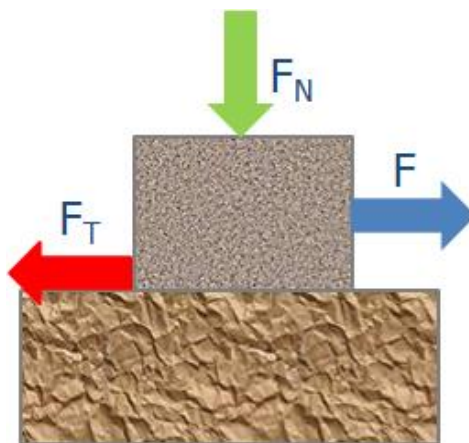
4. Трење

Трење представља отпор релативном кретању површина у додиру и захтева утрошак одређене количине енергије за његово савладавање. У већини случајева, у многобројним и различитим покретним елементима машина, уређаја и постројења, трење је непожељна и штетна појава.

На савладавање силе трења, као отпора кретању, било које врсте троши се знатна количина механичке енергије. Као последица трења на површинама у контакту долази до хабања и загревања површина материјала, па чак резултира и губитку радне способности.

Међутим, у бројним техничким системима (фрикциони преносници снаге, кочioni системи, амортизери и др.) повећано трење је неопходан услов за обављање њихове техничке функције.

Сила трења је основни параметар којим се квантифицира и мери процес трења. Поред силе трења за одређивање величине трења користи се коефицијант трења(f) и коефицијент утрошеног рада на трење (μ).[2]



Слика 3. Сила трења [2]

$$f = F_T / F_N$$

$$\mu = W_T / W_U$$

F - вучна сила

F_T - сила трења

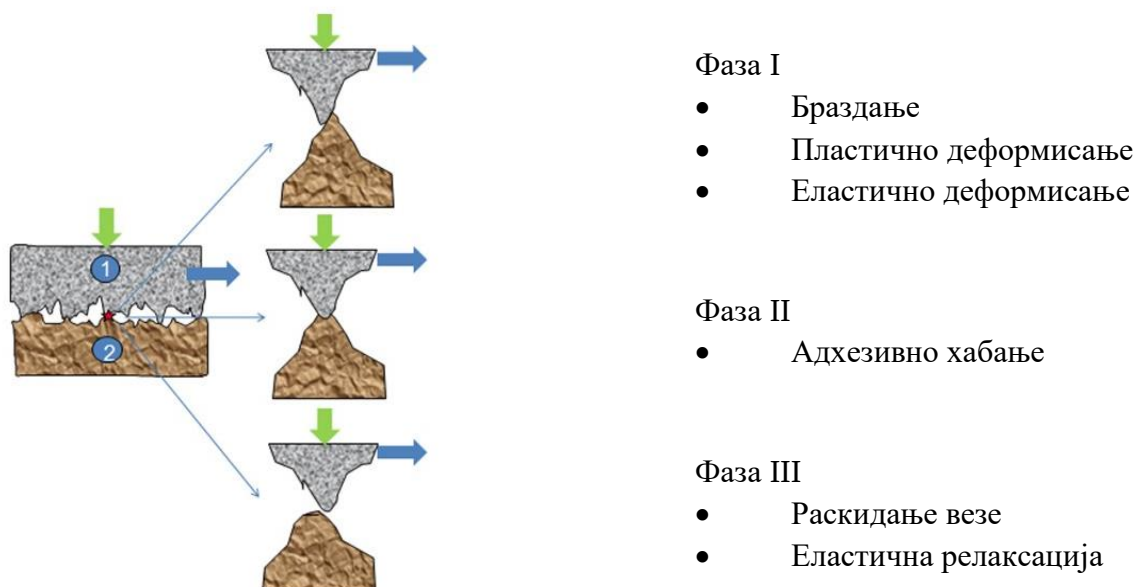
F_N - нормална сила

W_T - рад који се троши на савладавање силе трења

W_U - укупан рад који се троши на остваривање релативног кретања

Објашњење порекла силе трења дато је на слици 4, која приказује појединачни догађај процеса клизања тј. интеракције елементарних контаката две микронеравнине материјала различитих тврдоћа.

При томе се условно могу издвојити три (3) фазе њиховог релативног кретања, које су неопходне за разумевање свих механизма настајања силе трења.



Слика 4. Процес клизања [2]

На трење утичу:

- Хемијски састав материјала,
- Стање обрађене површине оба тела,
- Састав околине,
- Оптерећење,
- Брзина кретања,
- Начин кретања (праволинијско, кривудаво, напред-назад),
- Врсте контакта (површински, концентрисани),
- Температуре,
- Претходно клизање по тој површини.

5. Хабање

Хабање представља прогресиван процес губитка материјала са контактних слојева елемената трибомеханичких система. Процес хабања развија се на елементима трибомеханичких система као последица рушења њихових контактних слојева (чврста тела) и промене физичко-хемијских карактеристика (мазиво). [2]

Губитак масе материјала са контактних слојева оба чврста елемента доводи до промене њихових димензија, а често и облика.

Губитак масе трећег елемента (мазива), као и присуство честица материјала чврстих елемената система у њему, доводи до промена његових физичко-хемијских карактеристика.

Честице материјала које у процесу остваривања контакта одлазе са контактних слојева чврстих елемената трибомеханичких система називају се ”продукти хабања”.

Врсте хабања са аспекта доминантног механизма хабања:

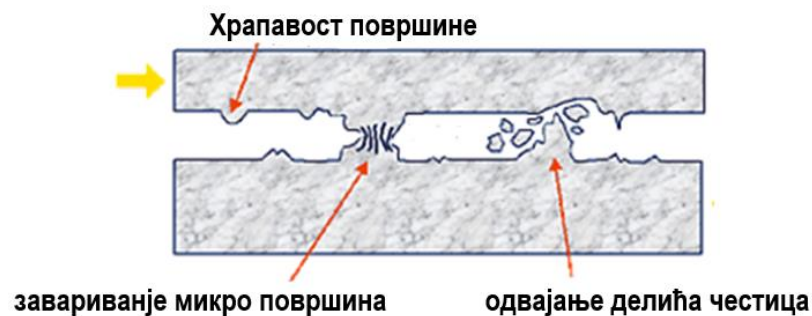
- | | |
|--------------|--|
| 1. Адхезивно | 4. Трибохемијско (корозионо и оксидационо) |
| 2. Абразивно | 5. Фретинг (вибрационо хабање) |
| 3. Заморно | 6. Ерозионо и кавитационо |

4.1. Адхезивно хабање

У процесу тангенцијалног релативног кретања контактних површина, долази до разарања микрозаварених спојева насталих између микронеравнина услед јаких адхезионих сила.

Раскидање се одвија у зони мекшег материјала у контакту, чиме се остварује процес преноса материјала са једне на другу контактну површину.

Адхезивно хабање не узрокује стварање продуката хабања, већ се манифестује само на нивоу преноса материјала са једне на другу површину, и јавља се у највећем броју случајева трења.

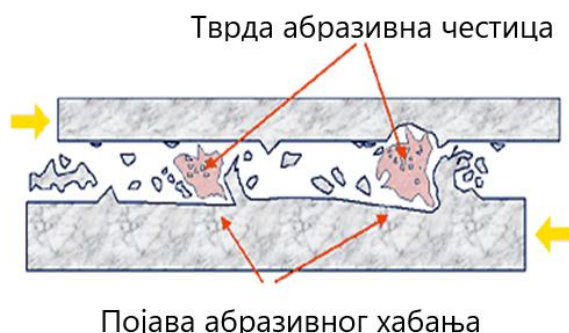


Слика 5. Шематски приказ адхезивног хабања[3]

4.2. Абразивно хабање

Абразивно хабање настаје кретањем врхова неравнина тврдих тела кроз површински слој тела мање тврдоће, при чему се остварују микрорезање и деформација материјала контактних слојева.

Ова врста механизма хабања је у великој мери заступљена у индустрији. Сматра се да више од 50% продуката хабања у индустрији настане као последица абразивног механизма хабања.



Слика 6. Шематски приказ абразивног хабања [3]

4.3. Заморно хабање

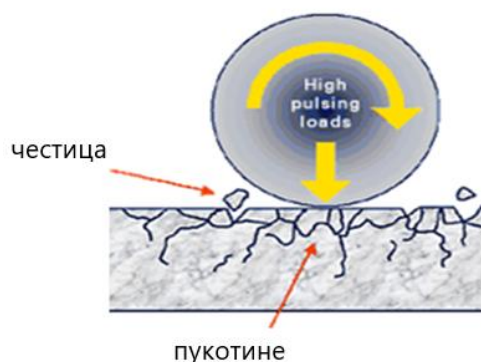
Механизам заморног хабања присутан је у свим врстама трибомеханичког сиситема (ТМС) и у свим условима под којима се контакт између елемената ТМС-а остварује.

У ТМС-у у коме се остварује процес клизања, врхови неравнина тела веће тврдоће крећу се кроз контактни слој материјала тела мање тврдоће.

У току рада ТМС-а двосмерно наизменично оптерећење контактеног слоја материјала мање тврдоће, понавља се у циклусима n пута.

Као последица јавља се:

- замор материјала,
- стварање продуката хабања.



Слика 7. Шематски приказ хабања услед замора материјала [3]

4.4. Трибохемијско хабање

У процесу остваривања контакта обе контактне површине реагују са средином у којој се контакт остварује, односно мазивом као трећим елементом ових система, тако да се на њима стварају хемијске превлаке различитих врста.

При клизању једног елемента по другом разарају се формиране хемијске превлаке и настају продукти трибохемијског хабања.



Слика 8. Шематски приказ трибохемијског хабања [2]

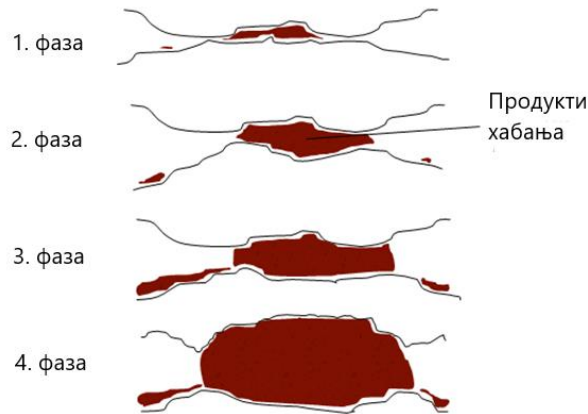
У реалним условима на контактним површинама стварају се танки спољашњи оксидациони слојеви као продукт хемијске интеракције са окружењем. У процесу релативног кретања ови слојеви се уклањају механизмима заморног и абразивног хабања и поново формирају. [2]

Пошто је основни материјал контактних површина садржан у продуктима реакције са окружењем, са њиховим уклањањем уклања се и основни материјал.

4.5. Вибрационо хабање (фретинг)

Фретинг означава процес хабања у зонама контакта ТМС-а у којима се остварује осцилаторно релативно кретање са врло малим амплитудама (мањим од 0,2 mm).

Процес вибрационог хабања остварује се кроз четири фазе: [2]	
I фаза:	- појава фрикционих веза (заварених спојева) на местима елементарних додира под дејством нормалног оптерећења, - рушење фрикционих веза при релативном клизању једног чврстог елемента по другом, - настанак првих продуката хабања и њихово гомилање у удубљењима на контактним површинама.
II фаза:	- продукти хабања, чија је тврдоћа већа од тврдоће материјала оба елемента у контакту, делују као абразивне честице, - стварање нових продуката хабања, - повећава се зона хабања.
III фаза:	- излазак продуката хабања из зоне хабања (јер продукти хабања достижу одређену количину и више не могу да се задржавају само у почетној зони хабања), - нагомилавање продуката хабања ван елементарних површина додира.
IV фаза:	- контакт између два елемента постаје, после нагомилавања велике количине продуката хабања, еластичне природе јер се остварује преко врло тврдих честица које на обе контактне површине. производе јамице чије дубине и пречници расту са временом трајања контакта.

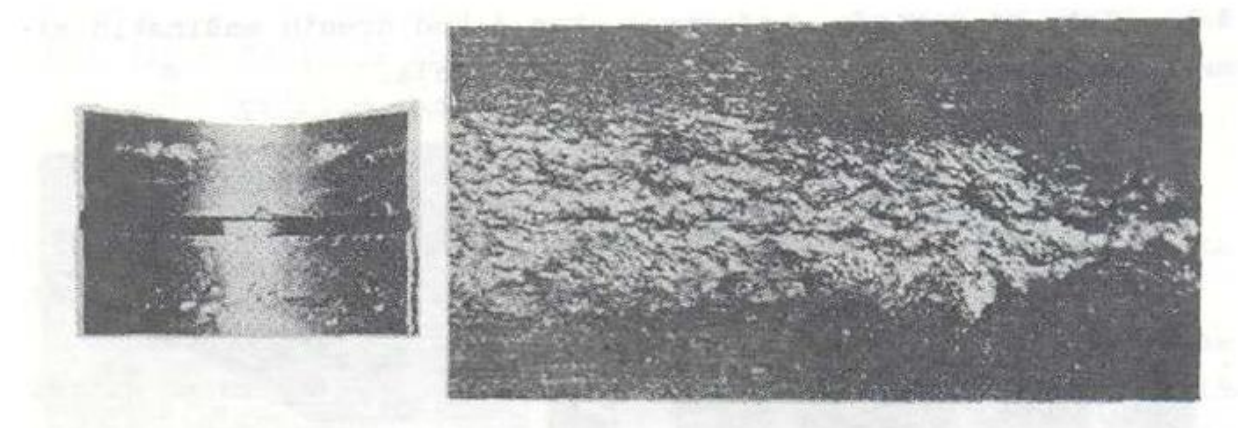


Слика 9. Шематски приказ процеса развоја вибрационог хабања [2]

4.6. Ерозионо и кавитационо хабање

Ерозионо хабање је хабање површина чврстих тела преко којих се креће неки флуид са или без абразивних честица.

У основи, ерозиони процеси су последица абразивног деловања чврстих честица ношених флуидом и замора материјала на контактним површинама чврстих тела тј. ерозиони процеси су последица абразивног и заморног механизма хабања.



Слика 10. Ерозионо хабање клизног лежаја [4]

Кавитација је процес формирања слободних мехура гаса (гасна кавитација) или паре течности (парна кавитација) који се јавља као резултат кретања чврстих тела у течности.

Кавитационо хабање је процес губитка масе материјала са контактне површине, на местима додира са флуидом, као последица нестајања раније формираних парних мехура.

Нестајање парних мехура прати појава високих локалних притисака и температура, чиме се и стварају услови за појаву продуката хабања са одговарајућих површина.

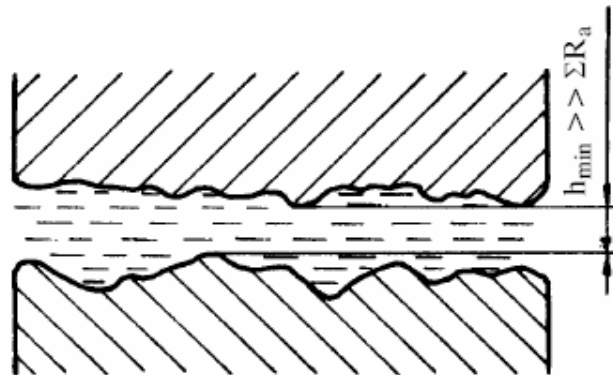
5. Подмазивање

Најчешће коришћени поступак за смањење трења и хабања – подмазивање. Раздвајања тарућих површина слојем или филмом неке материје која омогућава да се релативно кретање тела оствари са што мањим губитком енергије и незнатним оштећењем површине. Материје које имају таква својства називамо мазива.

У зависности од дебљине слоја мазива, подмазивање може бити:

- потпуно и
- непотпуно.

Ако је дебљина слоја мазива довољна да спречи додир два тела такав вид подмазивања се назива потпуним. Тежи се оваквом подмазивању јер су губици услед трења најмањи, а хабање материјала незнатно.



Слика 11. Шематски приказ потпуног подмазивања; $h_{\min}$ – најмања дебљина слоја мазива, R_a – средње аритметичко одступање профила[7]

Овај вид подмазивања није увек могуће технички остварити. Због тога се код многих механизма остварује непотпуно подмазивање, што значи да су површине које се подмазују само делимично раздвојене слојем мазива.

Потпуно подмазивање се постиже на више начина и основна подела је на:

- Хидростатичко подмазивање (ХСП);
- Хидродинамичко подмазивање (ХДП) и
- Еластохидродинамичко подмазивање (ЕХДП).

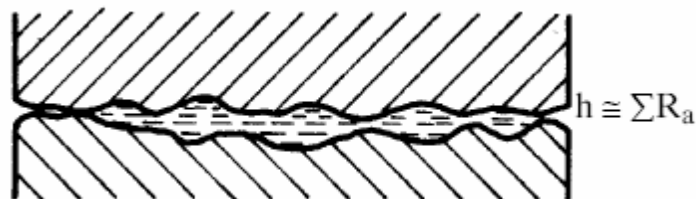
Код свих начина потпуног подмазивања неопходно је да се у слоју мазива оствари притисак способан да носи спољашње оптерећење, односно потребно је да слој има одговарајућу моћ ношења. Уколико притисак није довољан, под утицајем оптерећења мазиво може бити истиснуто са површина са последицом повећаног трења и хабања материјала. [7]

ХСП (Хидростатичко подмазивање) – неопходна моћ ношења слоја мазива обезбеђује се тако што се мазиво доводи између тарућих површина под притиском оствареним помоћу посебног уредјаја (хидростатичког система). То омогућује да се површине делова машина одржавају потпуно раздвојене и ако не постоји њихово релативно кретање ($v=0$). Овакав начин подмазивања је заступљен код клизних лежаја турбина, пумпи, машина алатки, затим код клизних водјица итд. При томе могу да се користе течна и гасовита мазива.

ХДП (Хидродинамичко подмазивање) – притисак у слоју мазива настаје као природна последица релативног кретања тела одредјене геометрије при довољној брзини – притисак се генерише у мазиву само при кретању елемената машина, док су при мировању њихове површине у директном додиру. И у овом случају користе се различите врсте течних и гасовитих мазива. Овај начин подмазивања има најзначајнију примену код радијалних и аксијалних клизних лежаја.

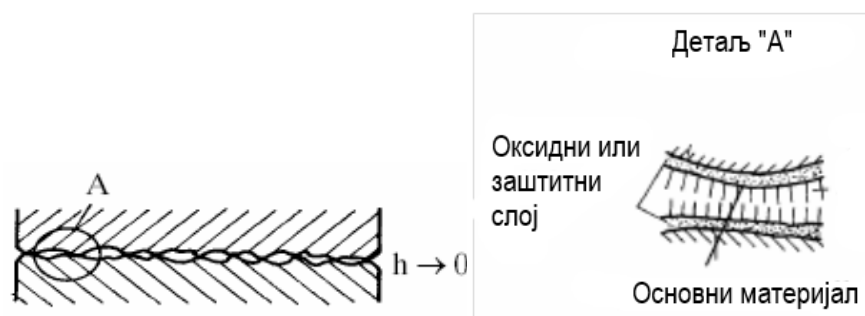
ЕХДП (Еластохидродинамичко подмазивање) – високо специфично оптерећење између делова у кретању, као код котрљајних лежаја, зупчаника и брегастих механизма. Високо специфично оптерећење има два основна ефекта. Оно узрокује пораст вискозности мазива и мења геометрију додира, повећавајући додирну површину као резултат еластичних деформација површинских слојева спрегнутих материјала. Моћ ношења слоја мазива одредјује еластична својства материјала и хидродинамички ефекти, па се такав режим подмазивања због тога назива еластохидродинамички.

Непотпуно подмазивање се уобичајено разматра као мешовито и гранично. Мешовито подмазивање означава такав режим подмазивања при коме су површине елемената машина местимично у додиру.



Слика 12. Шематски приказ мешовитог подмазивања; h – дебљина слоја мазива, R_a – средње аритметичко одступање профила[7]

Слој мазива је прекинут на појединим местима што значи да се оптерећење преноси с једне на другу површину делом преко мазива, а делом преко спрегнутих неравнина. Трење и хабање су код овог режима подмазивања по правилу већи него код потпуног подмазивања. Мешовито подмазивање је код неких механизма и елеманата машина стални и једини начин, док се код других јавља као прелазни режим, као на пример при покретању и заустављању делова машина са ХДП. Ако су услови рада и конструктивна решења таква да потпуно или мешовито подмазивање не може да се оствари, једини могући начин подмазивања је гранично. Оно означава да су покретни делови машина у директном додиру и да се оптерећење преноси преко спрегнутих неравнина. Да би се и у овим условима постигло смањење трења и хабања у односу на неподмазане услове, неопходно је да се путем мазива на тарућим површинама формирају танки, гранични слојеви који ће бити чврсто везани за металне површине.



Слика 13. Шематски приказ граничног подмазивања; h – дебелина слоја мазива.[7]

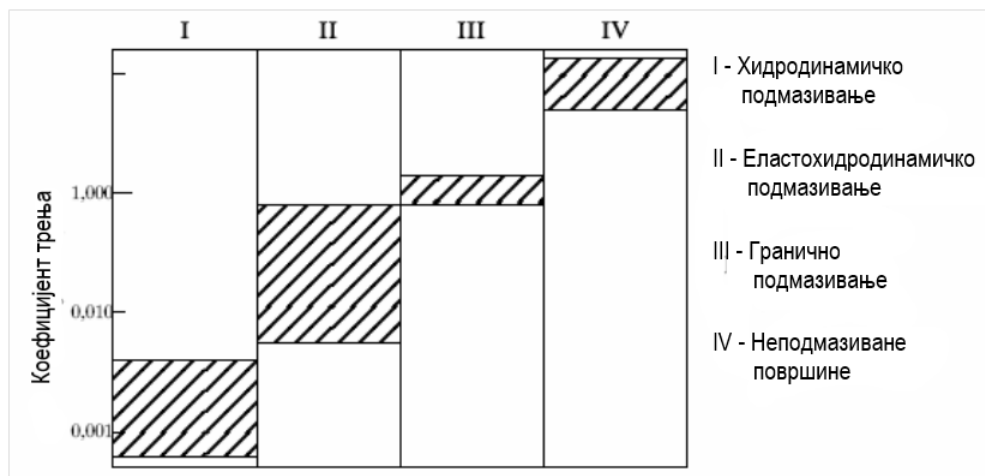
Гранични слојеви могу настати физичким и хемијским везивањем компонената из мазива са материјалом површине.

Величина трења и хабања зависе од својстава материјала, обраде површине и својстава мазива – пре свега од додатака (адитива) садржаних у мазиву.

Поједини начини подмазивања зависе, поред врсте и конструктивног решења посматраног дела машине и од радних услова. Један исти елемент може да ради под различитим условима подмазивања зависно од радних услова, односно режим подмазивања може да се мења током рада у функцији оптерећења, брзине, температуре итд.

5.1. Улога и подела мазива

Мазиву се поставља више задатака истовремено – смањење трења и хабања, хлађење, заптивање, чишћење итд. Основна улога мазива је ипак смањење трења и хабања. Величина трења значајно зависи од начина подмазивања.



Слика 14. Приближне вредности коефицијента трења за различите режиме подмазивања.[7]

Подела мазива може да се изврши на основу више критеријума. Мазива се деле према функцији, саставу или пореклу и намени.

Према функцији разликују се две основне групе мазива:

1. Конструктивна мазива која се посматрају као елемент конструкције машине. Избор мазива се врши приликом пројектовања машине или уређаја;
2. Технолошка мазива која се примењују при обради метала деформацијом и резањем у циљу подмазивања и хлађења алата и материјала који се обрађује.

Према агрегатном стању мазива се деле на:

1. Гасовита,
2. Течна,
3. Полутечна и
4. Чврста.

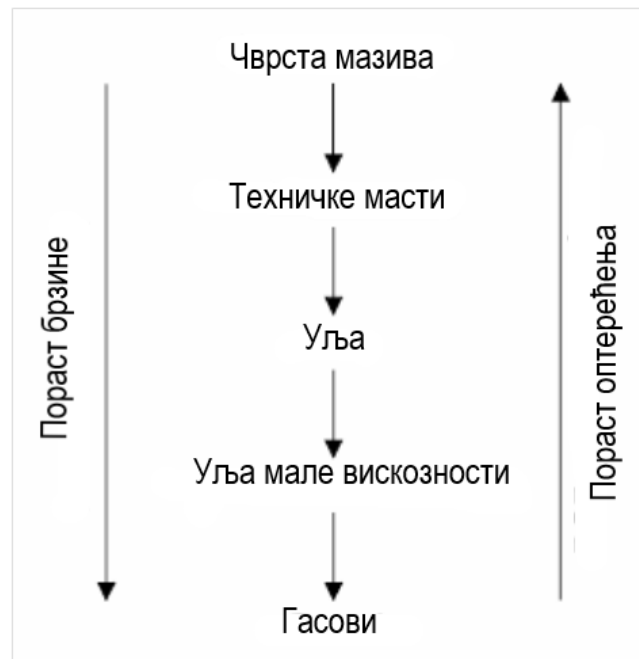
По свом пореклу и саставу мазива могу бити веома различита.

Течна мазива, чине три основне групе течности:

1. Уља минералног порекла – уља добијена прерадом нафте односно њених деривата,
2. Синтетичка уља и
3. Уља биљног и животињског порекла.

Веома често се данас користе и комбинације наведених основних врста мазива: замашћена уља (минерална уља + уља биљног и животињског порекла), легирана уља (минерална и синтетичка уља + хемијска једињења), мазивне емулзије (минерална и синтетичка уља + вода), суспензије (чврста мазива + уља или вода).

Подела према намени појединих врста мазива је везана за елементе машинских система за које се одређена мазива користе у процесу подмазивања. Према намени мазива се деле у одређене групе. У свакој групи постоји више производа различитих карактеристика. На избор мазива имају утицаја многи фактори: радни услови, услови експлоатације, захтевани век трајања и поузданост система. Уобичајено се од напред наведених величина посебно разматрају као утицајни фактори брзина и оптерећење. Опште је правило да се са порастом брзине користе мазива мање вискозности, а порастом оптерећења мазива веће вискозности.



Слика 15. Утицај брзине и оптерећења на избор врсте мазива. [7]

Величине које одређују избор врсте мазива чине саме карактеристике мазива односно њихова способност да задовоље одређене услове при подмазивању и да испуне друге задатке који се захтевају.

Својства мазива	Врста мазива			
	Течна мазива	Полутечна мазива (масти)	Чврста мазива	Гасовита мазива
Погодност за хидродинамичко посмазивање	Одлична	Задовољавајућа	-	Добра
Погодност за гранично подмазивање	Слаба до одлична	Добра до одлична	Добра до одлична	Обично слаба
Способност хлађења	Врло добра	Слаба	-	Задовољавајућа
Ниско трење	Задовољавајуће до добро	Задовољавајућа	Слаба	Одлична
Способност задржавања на месту подмазивања	Слаба	Добра	Врло добра	Врло добра
Заптивање	Слабо	Врло добро	Задовољавајуће добро	Слабо
Заштита од атмосферске корозије	Задовољавајућа до одлична	Добра до одлична	Слаба до задовољавајућа	Слаба
Температурски опсег употребе	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 гаса
Компатабилност са другим материјалима	Слаба до задовољавајућа	Задовољавајућа	Одлична	Добра
Цена мазива	Ниска до висока	Ниска	Ниска до висока	Ниска
Век	Одређен деградацијом и запрљањем мазива	Одређен деградацијом мазива	Одређен хабањем	Одређен способношћу да се одржи снабдевање гасом

Табела 1. Својства основних врста мазива [7]

Својства мазива	Врсте машинског елемента					
	Клизни лежајеви	Котрљајни лежајеви	Затворени зупчаници	Отворени зупчаници	Прецизни инструменти	Клизачи, зглобови
Способност граничног подмазивања	*	*	***	***	**	*
Хлађење	**	**	***	-	-	-
Трење	*	*	**	-	**	*
Способност задржавања на месту подмазивања	*	**	-	*	***	*
Способност заптивања	-	**	-	*	-	*
Температурски опсег	**	**	**	*	-	*
Заштита од корозије	*	*	-	**	**	*

Табела 2. Захтеви основних машинских елемената у односу на својства мазива [7]

Напомена за табелу 2:

- Релативни значај појединих својстава мазива приказан је у опсегу од:

*** врло значајан до

– потпуно без утицаја.

6. Трибологија клизних лежајева

Исправност и поузданост машина и уређаја су, пре свега, функција исправности рада покретних делова, од којих су клизни лежајеви свакако најважнији елементи. Због тога, оштећења и откази ових виталних елемената могу да проузрокују знатне материјалне губитке.

Мада је цена самог клизног лежаја релативно мала, свако оштећење лежаја којим се смањује функционална исправност система или настаје отказ, може изазвати велике индиректне трошкове.

Са техничког аспекта, отказ клизних лежаја су по учестаности, у укупним отказима који се јављају код појединих група машина, елементи високог ризика (таб.1). [5]

Врста машине	Учестаност, %	Ранг *
Парне турбине	16,7	II
Центрифугалне пумпе	22,0	II
Турбокомпресори и вентилатори	37,0	I
Видене турбине	38,0	I
Стационарни зупчасти преносници	19,0	II
Дизел мотори	12,0	III

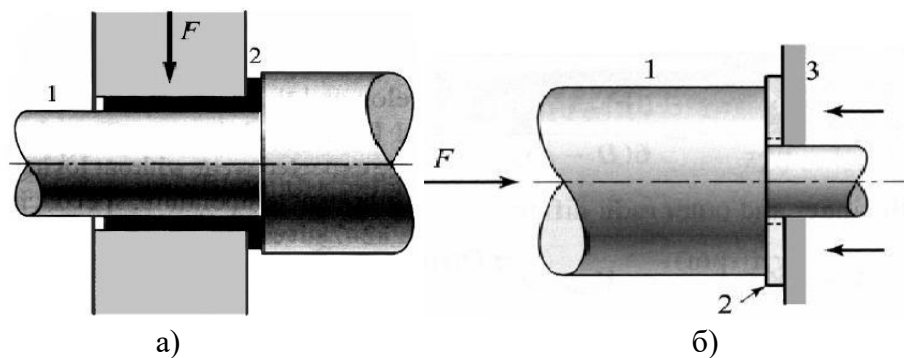
* Ранг означава место које заузима отказ клизних лежаја у укупном отказу посматране групе машина

Табела 3. Учестаност отказа лежаја по групама машина [5]

Трење у клизним лежиштима настаје између рукавца и постељице. Један од основних задатака конструктора је смањити трење да би се тиме смањили и непроизводни губици енергије, а истовремено смањило и хабање елемената трибомеханичког система. [4]

У зависности од правца деловања силе, клизна лежишта могу бити:

- радијална, када сила делује углавном управно на осу рукавца
- аксијална, када сила делује углавном дуж осе рукавца.



Слика. 16. Елементи лежишта [6]

- а) Радијално лежиште: 1 – рукавац вратила, 2 – лежишна постелица;
 б) Аксијално лежиште: 1 – вратило; 2 – покретни прстен који је везан за вратило;
 3 – непокретни прстен

Основни трибомеханички систем радијалних лежишта чине рукавац (1) и постелица (2) раздвојени мазивим слојем.

Основни трибомеханички систем аксијалних лежишта чини уздужни (1) или гребенасти рукавац који клиза по контактної површини постелице (2). Контактне површине су раздвојене мазивим слојем.

За смањење трења, а такође и побољшање услова подмазивања, радне површине постелица се могу изводити у великом броју различитих варијанти. [4]

Спољашње трење има молекуларно-механичку природу. Сила отпора релативном клизању састоји се из отпора условљеног деформисањем танког површинског слоја спрегнутим микронеравнинама и отпора насталог услед међумолекуларних, узајамних деловања довољно зближених делова тврђих тела. На тај начин, спољашње трење је пропраћено интензивним деформисањем површинских слојева мекшег тела у контакту. [4]

Под спољашњим трењем подразумева се такав процес деформисања површинских слојева када се не нарушава непрекидност тих слојева, а деформације нижих слојева су такве да се могу занемарити. Услови спољашњег трења остварују се само код лежишта која раде у режимима граничног подмазивања или и оно одсуствује.

Постелица лежишта се обично израђује од меке лежишне легуре, металополимера или гумено-металне конструкције. Материјал рукавца је много тврђи и под дејством радијалних или аксијалних сила, микронеравнине рукавца продиру у површински слој постелице. При релативном клизању, микронеравнине рукавца деформисаће површински слој постелице и тако изазивати силу отпора клизању.

Настала сила отпора клизању, тј. сила трења, биће састављена од силе отпора промени форме (топографије) површинског слоја и силе отпора условљене атомско-молекуларном узајамном деловању на граници раздвајања рукавац-постелица, у зони њиховог стварног додира. Из овога произилази да је сила трења двокомпонентна и има молекуларно-

механичку природу. Примећене силе, настале при клизању, зависе од напонског стања у зони стварног контакта рукавац-постељица и од форме узајамног деловања микронеравнина. Важно је напоменути да се узајамно деловање рукавца и постељице остварује преко превлаке сложеног састава, која покрива контактне површине. Молекуларна компонента суштински зависи од врсте подмазивања. Деформациона компонента силе трења не зависи од врсте подмазивања.

Сила трења која настаје између елемената трибомеханичких система клизних лежишта, при њиховом релативном клизању, зависи од напонског стања у зони стварног додира. У зависности од нормалних напона, топографије контактних површина, механичких карактеристика материјала, у зони стварног контакта могу настати: еластичне, еласто-пластичне или пластичне деформације. [4]

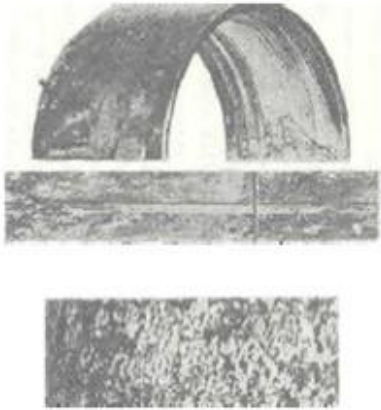
6.1. Врсте хабања клизних лежајева

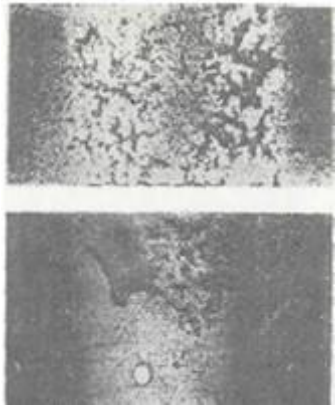
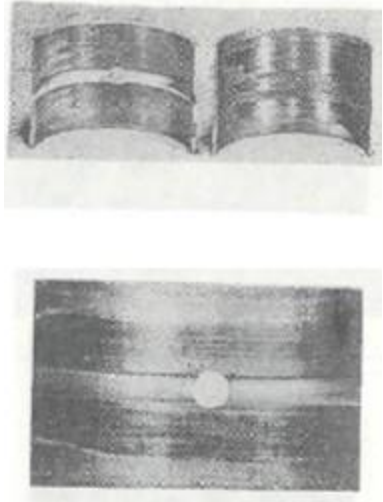
Клизна лежишта у већини случајева раде у режиму хидродинамичког подмазивања. При томе је хабање радних површина постељице и рукавца занемарљиво мало. Али у периоду пуштања и заустављања, лежишта која у нормалној експлоатацији раде у условима хидродинамичког подмазивања, прелазе на рад у условима граничног подмазивања. У овим периодима остварују се услови спољашњег трења и веома интензивно хабање. Хабање је процес чији су настанак и развој суштински везани за услове граничног подмазивања.

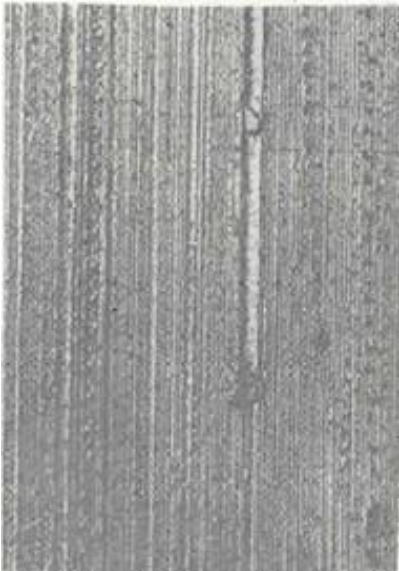
Уочавање и дефинисање врсте хабања није нимало једноставно и не ретко захтева механичка испитивања, металографску проверу, хемијску анализу и што је најтеже правовремену примену акумулираног знања, комбиновану са већ познатим информацијама.

Због различитих и карактеристичних услова под којима раде, на клизним лежиштима се могу појавити различите врсте хабања и повреда. У табели 2. дате су могуће врсте хабања и повреда клизних лежишта, најчешћи узроци њиховог настајања и опште препоруке одклањања и успоравања њиховог даљег развоја. [4]

Табела 4. Могуће врсте хабања и повреда клизних лежишта [4]

	Типичан изглед	Узрок	Опште препоруке отклањања и успоравања даљег развоја
Заморно хабање (PITTING)		Преоптерећење	- Повећање димензија лежишта - Смањење оптерећења - Коришћење материјала веће отпорности
		Ексцентрично оптерећење	- Корекција угиба вратила - Корекција центричности лежаја - Провера машинске обраде постељице и рукавца
		Висока локална концентрација напрезања	- Конструкционе измене концентрације напрезања - Корекција топографије контактне површине - Коришћење уља веће вискозности
		Високе температуре лежишта	- Снижење радне температуре - Коришћење тежих уља - Конструкционе измене за добијање дебљег мазивног слоја - Коришћење материјала веће температурне отпорности
		Вибрација ротора	- Балансирање ротора - Коришћење стабилнијих конструкција лежишта - Промене ослоња ротора да би се пригушиле вибрације
Електрични PITTING		Протицање електричне струје	- Одстрањивање извора струјног тока - Електрична изолација лежишта - Уземљење вратила

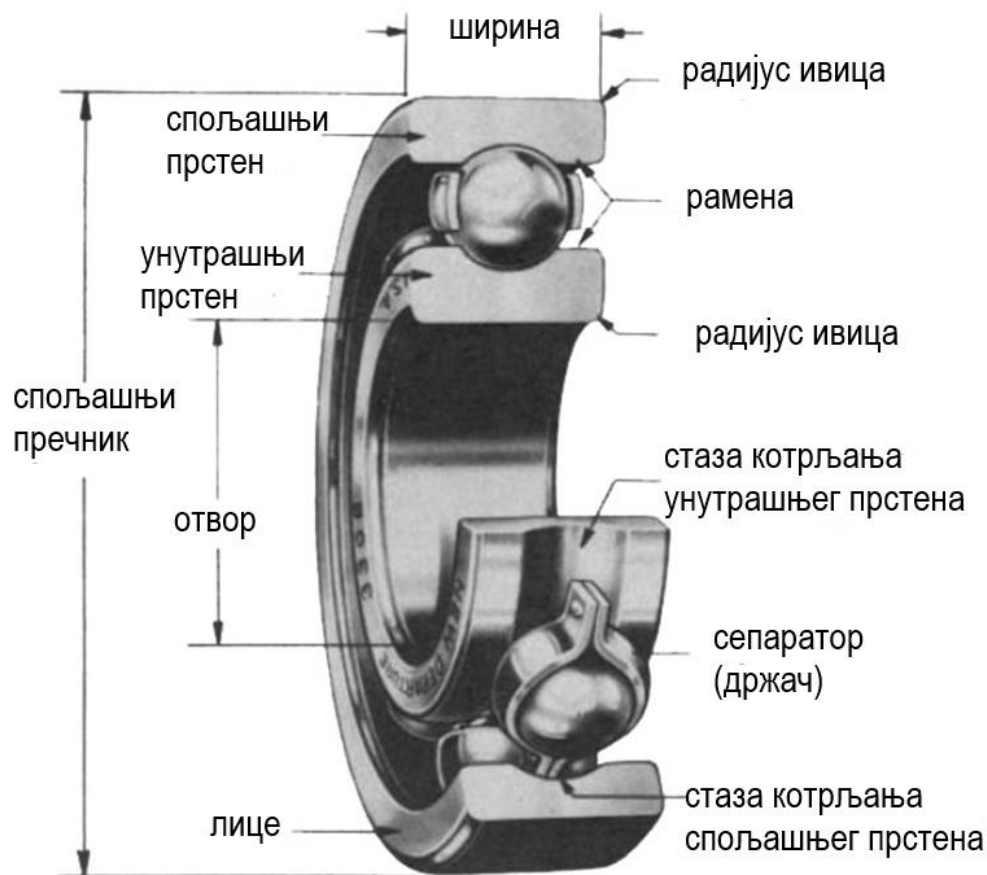
Корозија		Корозивна контаминација	- Уклањање извора контаминације: атмосферског или друге врсте - Заптивање лежишта - Коришћење мазива отпорних на корозију
		Влага	- Коришћење уља која спречавају рђу - Уклањање извора влаге
		Корозивна мазива	- Периодична уља или масти да би се спречило стварање корозионо-оксидационих продуката - Избегавање посебно корозивних уља за високе притиске, ако то није нужно - Коришћење некорозивних материјала (калајни бели метал, алуминијум)
Абразија		Абразивна контаминација	- Отклањање извора загађења - Постављање новог филтера - Чешћа замена уља - Обарање крајева уљних жлебова - Повећање дебљине мазивног слоја - Коришћење мекших материјала постелице или тврдих рукаваца
		Преоптерећење	- Повећање димензије лежишта - Смањење оптерећења
WIPING		Тренутна преоптерећења	- Повећање димензија лежишта - Коришћење материјала веће отпорности - Смањење потерећења - Повећање вискозности уља
		Тренутни прекид мазивног слоја	- Додавање уља - Провера пумпе, филтера, хладњака, цевовода - Повећање улазног притиска уља
		Неподесно уходавање	- Постепено уходавање - Уходавање са мањим оптерећењем - Корекција топографије контактних површина
		Искошење	- Центрирање рукавца и постелице
		Недовољан зазор	- Дорада отвора постелице
		Меки материјали заливка	- Коришћење тврдох материјала за заливке

SCORING		Велико оптерећење	- Повећање вискозности уља - Повећање димензије лежишта - Коришћење јачих материјала за лежишта и твррих рукаваца - Коришћење уља са против хабајним својствима или уља за високе ритиске
		Гранично подмазивање	- Коришћење уља веће вискозности - Коришћење мазива са адитивима против хабања или за високе притиске - Коришћење материјала боље компатабилности - Промена конструкционог решења да би се повећала дебљина мазивног слоја
		Недовољно подмазивање	- Додавање уља - Провера пумпе, филтера, хладњака, ценовода - Повећање улазног притиска уља
		Мала вискозност уља	- Коришћење уља веће вискозности - Смањење радне температуре лежишта хлађењем уља - Повећање проточне количине уља - Модифицирање конструкције лежишта да би се добио већи капацитет лежишта
		Искошење	- Полирање или брушење рукавца
		Претерани угиб рукавца	- Обезбеђење одговарајућих ослонаца рукавца - Смањење оптерећења
		Храпав рукавац	- Центрирање рукавца и постељице
		Лоша комбинација материјала (постељица-рукавац)	- Коришћење компатибилних материјала - Повећање тврдоће рукавца или коришћење твррих чаура на рукавцу - Коришћење уља са адитивима
		Екцентрични рукавац	- Замена рукавца
		Неодговарајуће ожљебљење	- Уклањање жљебова у зони оптерећења
Кавитациона ерозија		Велика брзина струјања уља	- Конструкционе промене за успостављање нових птвора и канала за мазиво - Коришћење уља виших вискозности и нижих радних температура - Коришћење материјала отпорних на замаор

7. Трибологија котрљајних лежајева

Котрљајни лежајеви се састоје од прстенова или колутова, котрљајних тела и кавеза (држача котрљајних тела). Котрљајна тела су смештена између спољашњег и унутрашњег прстена, код прстенастих лежаја, односно између колутова код колутних лежајева.

У прстеновима и колутима урађени су жлебови, ткз. стазе котрљања по којима се крећу котрљајна тела. Радијус кривине жлебова је нешто већи од радијуса кривине котрљајних тела. По правилу прстенасти лежајеви служе за преношење радијалних сила, а могу се применити и у случају радијалних и аксијалних сила. Колутни лежаји служе за преношење аксијалних сила.



Слика 17. Основни елементи кугличног котрљајног лежаја [4]

Основна предност котрљајних лежаја су мало трење и релативно мали захтеви у систему подмазивања. Трење код котрљајних лежаја је тако мало да се најчешће и занемарује у укупном енергетском билансу при пројектовању машина и уређаја. Већи значај добија у случајевима када његов топлотни ефекат суштински утиче на радне температуре машина.

Трење у лежајима састоји се из три компоненте: трења котрљања, трења клизања и трења у мазивом материјалу. Између њих постоји веома сложена и блиско узајамна веза која отежава детаљну анализу сваке компоненте понаособ.

7.1. Врсте хабања котрљајних лежајева

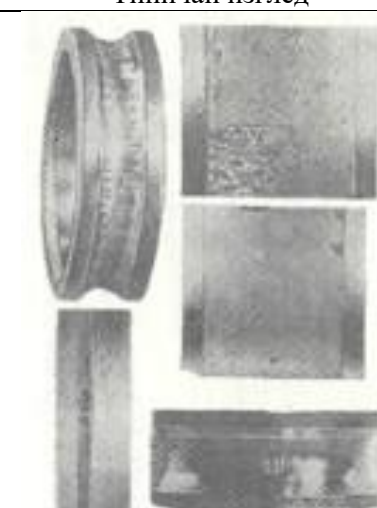
На елементима трибомеханичког система котрљајних лежаја могу настати различите врсте хабања и повреда. На једном лежају могу настати истовремено више врста хабања, као по правилу, једна од насталих врста је доминантна и она ће суштински одредити даљи правац развоја триболошких процеса и коначно век трајања лежаја.

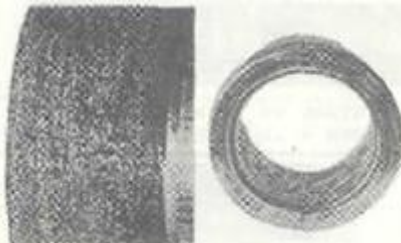
Који ће се облици хабања јавити и који ће облик бити доминантан, зависи од великог броја фактора које је могуће поделити у четири основне групе:

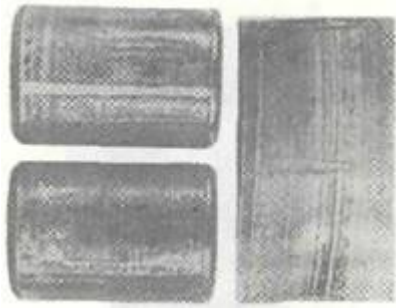
- Експлоатациони фактори,
- Конструкциони фактори,
- Фактори технологичности,
- Фактори субјективних особина оператора.

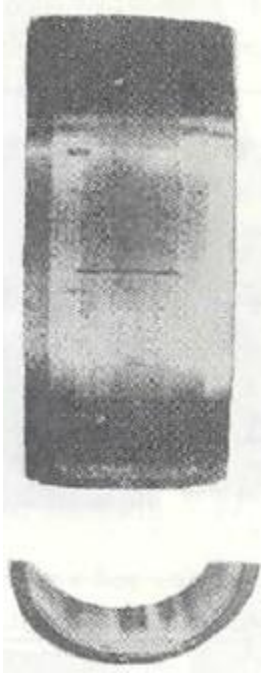
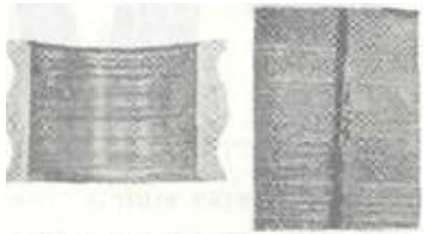
У табели 5. дате су могуће врсте хабања и повреда котрљајних лежајева и најчешћи узроци њиховог настајања.[4]

Табела 5. Могуће врсте хабања и повреда котрљајних лежајева [4]

Заморно хабање „PITING“–процес одвајања честица материјала и образовања јамица на радним површинама лежаја услед контактнoг замора материјала		
Типичан изглед	Карактеристика	узрок
	Делимични питинг на путањи котрљања	Почетна фаза замора материјала
	Широка област питинга по целој површини путање котрљања	Завршна фаза замора материјала
	Питинг на дијаметрално супротним тачкама путање котрљања радијалних лежаја	Овалност услед деформације прстена
	Ексцентричне области питинга аксијалних лежајева	Несаосност при монтажи и друге грешке
	Питинг у једној тачки путање котрљања	Стране честице у чежишту
	Питинг на бочном наслону унутрашњег прстена лежаја са ваљцима	Несаосност прстена и ваљка

	Месни питинг (растојања између области код којих је дошло до појаве питинга једнака су растојањима између котрљајних тела	Удари при монтажи, прејако монтирање код несаосности делова вратила на којима су предвиђена лежишта
	Питинг на котрљајним телима или на путањи котрљања лежаја	Прејакe силe при монтажи, недовољна количина мазива
Електрични „PITING“ – Облик питинга проузрокован проласком електричног тока струје и варничењем између површина у контакту		
	Мале јамице распоређене по површини котрљања лежаја	Пролаз струје у дугом интервалу времена
	Мале јамице са стохастичком расподелом	Пролаз струје у ограниченом интервалу времена
Браздање „FLUTING“ – Брста питинга када јамице образују жљебне бразде правилно распоређене		
	Јамице са отопљеним ивицама	Утицај вибрација заједно са електричним током
	Јамице без отопљених ивица	Вибрације, повећано хабање, преоптерећење лежаја
Корозија (CORROSION) – хабање котрљајних површина услед њиховог хамијског или електрохамијског узајамног дејства са околином		
	Издвојене мрље или јамицена путањи котрљања, по броју једнаке броју котрљајних тела	Утицај влаге или киселина при дугортајном чувању лежаја који не раде.
	Мрље и јамице на површини	Мазива неотпорна на корозију, влага у мазиву, корозиона атмосфера, влага на површини лежаја.
	Црвене или тамноцрвене мрље рђе обично са светлим ивицама на склопним површинама	Обртање прстена на месту уградње
	Зарђале пруге на површини	Вода и мазиво

Прскотине (CRACKS) – појаве уских прскотина на контактним површинама, обично без одвајања честица		
	Прскотине на прстеновима лежаја	Сувише чврст склоп, делимичан склоп, деформације услед овалности склопних елемената, проклизавање склопа.
	Попречне пукотине на унутрашњем или спољашњем пречнику лежаја.	Проклизавање склопа
	Кружне прскотине на прстеновима	Деформације склопа у кућишту, делимично налагање склопа, преоптерећење.
	Радијалне прскотине на ивицама рстенова, радијалне прскотине на чеоним повшинама обртних прстенова	Проклизавање прстена на месту уградње, абразивно дејство прљавштине на склопу у процесу експлоатације
	Површинске прскотине на прстену самоподешљивог аксијалног лежаја.	Непаралелност коничних вратила
Пластично течење – појава површинских удубљења која се образују при пластичном течењу материјала под оптерећењем без одвођења материјала са опвршине		
	Сјајни трагови са растојањима једнаким растојањима котрљајних тела	Удари при монтажи; погрешна уградња; преоптерећење
	Мутни трагови са растојањима једнаким растојањима котрљајних тела	Вибрације, присуство абразивних честица
	Издвојена удубљења	Случајни удари
	Мутни трагови, несређено размаштени на путањама и котрљајним телима	Прљавштина

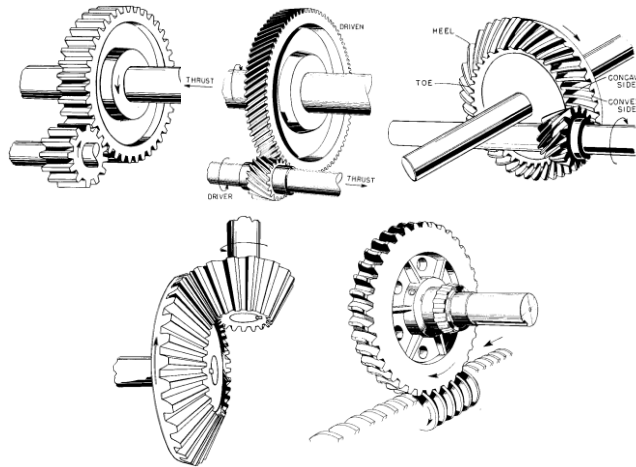
Пренос (трансфер) материјала – пренос материјала у разним облицима са једне котрљајне површине на другу при проклизавању		
	Пренос материјала држача на површине котрљајних тела	Укљештење котрљајних тела у држачу, недовољно подмазивање, сувише велике брзине, силе инерције
	Развучене пруге на површини унутрашњег и спољашњег пречника лежишта.	Померања на месту склопова
	Пренос материјала на чеоне површине прстена	Померање на месту уградње, проклизавање под притиском
	Трагови преноса материјала на путањама и коотрљајним телима у аксијалном правцу код цилиндричних и самоподесивих котрљајних лежајева са ваљцима	Прекомерне силе при уградњи, искошење прстена при уградњи, аксијално померање прстена једног у односу на други под оптерећењем.
	Пренос материјала у аксијалном правцу на жљебове прстенова самоподесивих лежајева.	Угаона померања вратила под оптерећењем код непокретних лежајева.
	Пренос материјала у аксијалном правцу на жлебове прстенова самоподесивих аксијалних лежаја	Радијална померања прстенова, грешке при монтажи, грешке при обради склопних површина елемената лежишта.
	Пренос материјала у облику кружних трака на жлебове, држаче, котрљајна тела. Спиралне траке на крајевима ваљака и бочним наслонима унутрашњег прстена	Недовољно посмазивање, мало оптерећење при великим брзинама, деловање аксијалног оптерећења при недовољном подмазивању.
Атхезивно хабање – порцес настајања и развоја разорног хабања на котрљајним површинама у правцу клизања као последица атхезионих узајамних деловања површина у контакту		
	Рисеви, пруге и бразде на котрљајним телима	Високи притисци, недовољно подмазивање, проклизавање котрљајних тела, високе температуре.
	Зареци, пруге и бразде на путањама спољашњег и унутрашњег прстена	Преоптерећење, прекид улног филма, проклизавање прстенова, високе температуре, појава кртих и веома тврдих честица.

Абразивно хабање – механичко хабање контактних површина услед деловања прљавштине, механичких примеса уља или продукта хабања		
	Мутни трагови	Деловање абразивних честица
	Светли трагови	Деловање ситних абразивних честица
	Локална удубљења са растојањима једнаким растојањима котрљајних тела	Вибрације у присуству абразивних честица
	Зареци промењене боје	Рад у недовољном подмазивању, талози од лака из мазива
	Огреботине у тачкама контакта држача и котрљајних тела	Деловање инерцијалних сила и недовољно подмазивање
	Хабање са зарезима склопних површина прстенова и гнезда држача	Искошење унутрашњег и спољашњег прстена, деловање абразивних честица
	Огреботине котрљајних тела при повећању унутрашњег зазора	Деловање абразивних честица, недовољно подмазивање
	Таласање путање котрљања	Вибрације у присуству абразивних честица
	Абразивно хабање вратила и унутрашњег прстена лежача	Обртање прстена на месту уградње
„FRITING“ – корозионо механичко хабање контактних површина при малим осцилаторним релативним померањима		
	Јамице испуњене прашкастим продуктима хабања. Разорене површине се карактеришу: - Превлаком црвеног оксида - Превлаком црне боје - Бораксном превлаком фероксида. Јавља се на спољашњој површини спољашњег прстена и унутрашњој површини унутрашњег прстена	Недовољна чврстоћа склопа у кућишту или на вратилу; деловање корозионих средина
	Јамице испуњене прашкастим продуктима хабања и превлаком карактеристичне боје на шољици и иглицама игличастог лежача	Обртно-повратна кретања малих амплитуда и деловање корозионих средина

Остале повреде		
	Пукотине на држачу, разарање преграда и закивака држача	Недовољно подмазивање, инерцијалне силе при великим брзинама, трансфер метала, разарање котрљајних тела
	Промена боје површине материјала без смањења тврдоће	Промена сатава мазива, таложење у условима високих притисака и температура
	Повећање или смањење димензија прстенова	Утицај дуготрајног рада лежишта при високим или ниским температурама на структуру материјала
	Разарање бочног наслона унутрашњег прстена лежаја са ваљцима	Удари при уградњи, неравномерни распоред притисака по чеоној површини прстена

8. Трибологија зупчастих преносника

Отпор који се јавља при релативном померању два тела у додиру или тела у средини која га окружује, а који називамо трењем, прати и рад зупчастих преносника. Основне последице трења у зупчаницима су расипање енергије, различити степени искоришћења, хабање и повреде зупчаника. Параметри којима се најчешће квантифицира трење у зупчаницима су: коефицијент трења и губици енергије у спрези. [4]



Слика 18. Примери спрезања зупчастих преносника [6]

8.1. Коефицијент трења

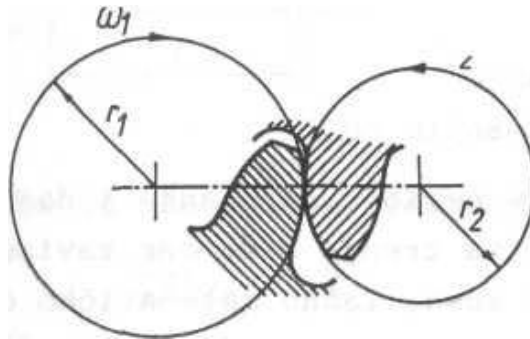
Анализа кинематике спрезања, као и услова које зупчаници у спрези морају да испуне, показује да компоненте тренутних брзина неке тачке додира у правцу заједничке тангенте на бокове спрегнутих зубаца, нису нити морају бити једнаке. То значи да бокови зубаца клизају један по другом, а једино када се бокови зубаца додирују у централној тачки нема клизања и настаје котрљање.

Трење које се јавља при раду зупчаника је у принципу збир трења клизања и трења котрљања. Како се правци и интензитети брзине клизања и брзине котрљања мењају у периоду спрезања, односно у интервалу времена од уласка зуба у спрегу до његовог изласка из спреге, логично је да се и трење мења у том истом интервалу. Постоје тренутне вредности силе и коефицијента трења и оне зависе од тренутног положаја контакта спрегнутих зуба.

Дефинисање тренутних вредности коефицијента трења у свакој тачки контакта у току периода спрезања је веома тешко. Основни параметри који утичу на коефицијент трења, као брзина клизања, мењају величину и правац у периоду спрезања, а други параметри утицаја (оптерећење, одступања и геометрија) усложњавају општу математичку анализу.

Због тога се за сада још увек оперише са средњим вредностима коефицијента трења до кога се долази комбинацијом теоријских поставки и експерименталних испитивања.

Одређивање средње вредности коефицијента трења је: могуће на више начина и различитом методологијом. Уобичајено је да се контакт два спрегнута зупца цилиндричних зупчаника своди на разматрање контакта два ваљка, пошто се може узети да површине бокова представљају делове површине два замишљена ваљка са полупречницима равним полу-пречницима кривина на месту додира. [4]



Слика 20. Математичка интерпретација контакта два зуба [6]

Између ваљака постоје узајамни тангенцијални контакти, условљени деловањем нормалне силе.

Ако су угаоне брзине ваљка ω_1 и ω_2 , обимне брзине $\omega_1 r_1$ и $\omega_2 r_2$ се могу сматрати брзинама кривих у тачки контакта два спрегнута зуба. Брзина клизања је тада [4]:

$$V_k = \omega_1 r_1 - \omega_2 r_2 \quad ; \quad \omega_1 > \omega_2$$

Релативни полупречник спрегнутих ваљака се може дефинисати као:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

Односно:

$$r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$$

и може се упоредити са релативним полупречником кривине, r_s , на додирници цилиндричног зупчаника:

$$r_s = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \sin \alpha$$

Где су r_1 и r_2 одговарајући подеони полупречници, а α угао додирнице.

Комбиновањем оваквих теоријских разматрања и експерименталних испитивања, добија се емпиријска формула за израчунавања средњег коефицијента трења[4]:

$$\mu_s = \frac{K}{\eta^\alpha \cdot r^\beta \cdot V_e^\gamma}$$

Где су: V_e – збир обимних брзина: $V_e = \omega_1 \cdot r_1 + \omega_2 \cdot r_2$

K – константа

η – вискозност уља за подмазивање

α, β, γ – константе са вредностима мањим од 1

8.2. Силе трења и губици енергије у спрези

Губици енергије или губици снаге у зупчастом преносу, а који се исказују преко степена искоришћења преносника, варирају од 0,5% до преко 80%, у зависности од типа зупчаника, лежишта, тачности израде, топографије контактних површина, оптерећења, подмазивања и др. фактора. Како апсолутни степен искоришћења (100%) не може егзистирати ни у теоријским разматрањима и с обзиром на све већу вредност и значај енергије, задатак је конструктора да учини све како би губитке енергије у преносу минимизирао до границе могућег.

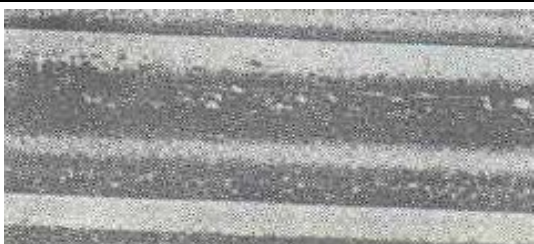
За брзе анализе степена искоришћења или ако се не располаже довољним подацима за приближна израчунавања губитака у спрези, оправдано је користити и табелу 6

Табела 6. [4]

Тип зупчаника		Опсег губитака у спрези, %
Цилиндрични хеликоидни	Спољње озубљење	0,5 - 3
Цилиндрични хеликоидни	Унутрашње озубљење	0,5 - 3
Конични		0,5 - 3
Пужни		2 - 50
Спироидни		2 - 50
Хипоидни		2 - 50
Цилиндрични хеликоидни са вратилима која се мимоилазе		5 - 50

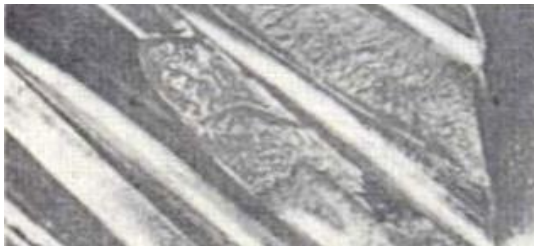
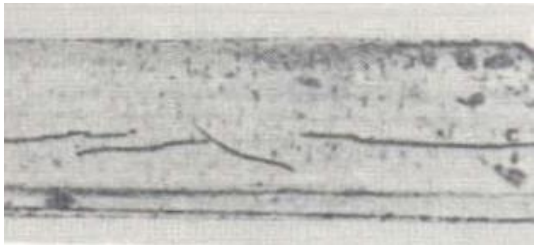
8.3. Номенклатура врста хабања и повреда зуба зупчаника

Табела 7. Могуће врсте хабања и повреда зуба зупчаника [4]

	НОРМАЛНО ХАБАЊЕ (ПОЛИРАЊЕ) То је споро одвођење метала са контактних површина. Нормално хабање не утиче на рад преносника у интервалу времена за који је преносник конструисан.
	УМЕРЕНО ХАБАЊЕ Је брже одвођење метала са контактних површина. Век зупчаника се не смањује.
	РАЗОРНО ХАБАЊЕ је повреда, разарање или измена облика површине зуба зупчаника услед хабања. При оваквом хабању знатно се скраћује век и нарушава равномерност рада зупчаника.
	АБРАЗивно ХАБАЊЕ је врста разорног хабање које се карактерише повредама контактних површина услед деловања прљавштине, механичких примеса у уљу или продуката хабања зупчаника и лежишта.
	„SCRATCHING“ је тежа форма абразивног хабања које се карактерише огреботинама и кратким зарезима у правцу клизања.

	„SCORING“ је брзо одвођење метала, изазвано кидањем малих делова, заварених при непосредном додиру контактних површина, Карактерише се дубоким браздама у правцу клизања.
	ПОДСЕЦАЊЕ ЗУБА се јавља услед неправилног или нетачног спрезања. Најчешће се јавља у облику уских трака на којима је приметно интензивније хабање. Ова места су понекад прекривена и јамицама. У тежим случајевима јављају се и изражене бразде
	КОРОЗИОНО ХАБАЊЕ је повреда зуба услед хемијског дејства киселих материјала, влаге или примеса садржаних у уљу. Најчешће се карактерише ситним јамицама које се губе током времена, али је при томе хабање врло интензивно.
	ЉУСПАЊЕ Је врста хабања при коме се са површине одваја метал у облику врло танких љуспица, а на контактним површинама остаје мала, мутна и храпава површина
	ПРЕГРЕВАЊЕ настаје као резултат дејства врло високих температура. Као последица ове појаве могу настати разни облици интензивног хабања.
	ИНИЦИЈАЛНИ „PITTING“ се испољава у облику ситних јамица на додирници или нешто испод ње. Овај питинг није посебно опасан будући да га је лако одстранити, а осим тога практично је непрогресиван.

	РАЗОРНИ „PITING“ се обично јавља испод додирнице. Број јамица, као и њихове димензије се непрекидно увећавају, што коначно доводи до повлачења зупчаника из употребе.
	„SPALLING“ се карактерише љускањем врха и бокова ивица зупчаника. Образоване прскотине су веће и дубље од јамица разорног питинга.
	ВАЉАЊЕ И ОЈАЧАЊЕ се скоро увек јављају истовремено. Карактеришу се појавом гребена на врху и бочним ивицама зуба, деформисањем заобљења врха зуба, образовањем удубљења на погонском и гребена у зони додира гоњеног зупчаника
	ТАЛАСАЊЕ се испољава у образовању таласастих гребена под правим углом на правац клизања. Јавља се углавном код цементираних, хипоидних погонских зупчаника
	ОБРАЗОВАЊЕ ГРЕБЕНА (БРАЗДАЊЕ) је чест случај пластичног течења. Карактерише се појавом гребена распоређених по дијагонали контактне површине. У неким случајевима повреде имају стреласти облик у правцу клизања.
	ЗАМОРНИ ЛОМ је најраспрострањенији вид лома зуба. Испољава се у виду пукотине на оптерећеној страни зуба, обично у области ивице попречног пресека. Пукотина се шири дуж ноге зуба по дијагонали, све до потпуног лома.

	ЛОМ УСЛЕД ПРЕВЕЛИКОГ ХАБАЊА може настати као резултат интензивног питинга, љуспања или абразије.
	ЛОМ УСЛЕД ПРЕОПТЕРЕЋЕЊА најчешће настаје при деловању изненадних, веома високих оптерећења. Код тврдых и кртих метала, лом има изглед свиласте нити, а код жилавих метала изглед покиданих влакана.
	КАЉЕНА ПУКОТИНА настаје као резултат концентрације унутрашњих напона при термичкој обради. Обично су изгледа капиларних пукотина које пресецају главу зуба или су смештене по радијусу заобљења ноге зуба.
	ПУКОТИНЕ УСЛЕД БРУШЕЊА настају услед неправилне технологије брушења или нарушеног режима термообrade. Пукотине су узрок разорног лома, а у неким случајевима проузрокују разарање само контактне површине праћено љуспањем.
Напомена: ПЛАСТИЧНО ТЕЧЕЊЕ - Деформације површинског метала услед великог оптерећења ЛОМ - Под ломом се подразумева потпуни прелом зуба или прелом његовог већег дела	

8.4. Најчешће врсте хабања зупчаника

Номенклатура врста хабања и повреда зуба зупчаника пружа могућност за идентификацију бројних могућих врста хабања које се могу појавити при експерименталним испитивањима или у експлоатацији. Анализа бројних информација показује да се у нормалним условима експлоатације јављају углавном одређене врсте хабања.

Зупчаници савремених авионских мотора раде у условима високих оптерећења и великих брзина. Њихови габарити су мали, а век трајања краћи. У оваквим условима, најчешће су појаве: скоринга, питинга и лома зупчаника.

Зупчаници гасних турбина раде при температурама $200 \div 250^{\circ}\text{C}$, а најчешће појаве су различите врсте скоринга.

На зупчаницима парних турбина, који раде са нормалним оптерећењима и код којих се тражи дужи век трајања, не мањи од 100 хиљада часова, најчешће хабање је питинг.

Аутомобилски зупчаници раде при високим оптерећењима, релативно мањим брзинама и са променљивим моментом увијања. Појава скоринга при нормалним оптерећењима је овде ређа. Главна и најчешћа врста хабања је питинг.

Зупчаници локомотива раде са великим оптерећењима, променљивим моментом увијања и мањом брзином. Захтевани век трајања је реда 20.000 сати. Најчешће појаве су лом и скоринг на активним површинама.

Тракторски зупчаници раде са нешто мањим оптерећењима од аутомобилских зупчаника, али и са нешто већим фактором удара. Због услова у којима раде, изложени су утицајима атмосфере и појави абразивног хабања. Најчешћи облици хабања су питинг (52%) и абразивно хабање (30%) .

Зупчаници машина алатки раде са умереним оптерећењем, а најчешћа врста хабања је питинг.

Лако је уочити да је најчешћа врста хабања која се јавља код зупчастих преносника питинг, а да се остале врсте хабања и повреда јављају ређе и под одређеним условима. Занимљиви су подаци изнети на Међународној конференцији о зупчаницама, у Белгији 1956. По њима, у периоду од 1946-1956. год., појава питинга је представљала 90% од свих појава на индустријским и бродским зупчаницама.

9. Трибомеханичке карактеристике рударско грађевинске механизације

Грађевинске машине као техничка средства представљају скуп веома сложених трибомеханичких система састављених од низа подсистема који представљају, такође, сложене трибомеханичке системе. Чине их сви склопови који учествују у преносу снаге, односно обртног момента од мотора, преко склопова трансмисије (мењача, разводника погона, диференцијала и осталих склопова), до извршних органа машине.



Слика 21. Буллдозер [11]

Веома је битно да сваки систем ради без застоја, са што мање отказа и поуздано односно да буде што мање ван функције. Отуда потиче и стална тежња за повећањем поузданости техничких система у процесу њиховог развоја, рада и одржавања.



Слика 22. Компоненте хидрауличног багера [10]

Током експлоатације машине су изложене временски променљивим, динамичким и нестационарним оптерећењима која су у функцији читавог низа фактора, као што су: брзина кретања, квалитет, врста и услови подлоге по којој се креће, начин управљања, временских услова, интензитета коришћења и тд. Промене експлоатационих режима доводе до промене радних оптерећења елемената, сила и коефицијената трења контактних површина, повећање радне температуре и хабање елемената система. Процеси настали на тај начин манифестују се жељеним ефектима који се могу идентификовати кроз хабање, губитке енергије, кретања, функционалности и поузданости, смањење века трајања и раст трошкова одржавања.



Слика 23. Утовривач на точковима [9]

Грађевинска машина као сложени трибомехночки систем може се разложити и анализирати као скуп посебних трибомеханичких система (мотор, трансмисија, систем хидраулике радних елемената, систем за хлађење, извршни органи машине итд.), а сваки од наведених трибомеханичких система може се даље разложити и анализирати као скуп посебних трибомеханичких система. И све тако док на крају сваки бок зуба зупчаника или куглица котрљајног лежаја може се посматрати као елементарна јединица трибомеханочког система.

Ово указује да се триболошке карактеристике једног веома сложеног трибомеханичког система не могу посматрати на једноставан начин и да није могуће лако успоставити поуздане методе и одредити дијагностичке параметре за оцену стања посматраног система.



Слика 24. Компоненте утоваривача [12]

Разлози отказа реалних система могу бити веома различити и не може се говорити о поузданим методама за предвиђање века сложених система.

9.1. Откази техничких система настали као последица хабања елемената

Приликом експлоатације рударско грађевинске механизација на површинским коповима неминовно долази до отказа који су последица разних врста хабања елемената трибомеханичког система. Пошто грађевинска машина као технички систем представља скуп сложених тримомеханичких система, сваки од тих система има и своје карактеристике.

Највећи број отказа се јавља услед недовољног или неадекватног подмазивања, као и услед нарушавања уљног филма између елемената у контакту.

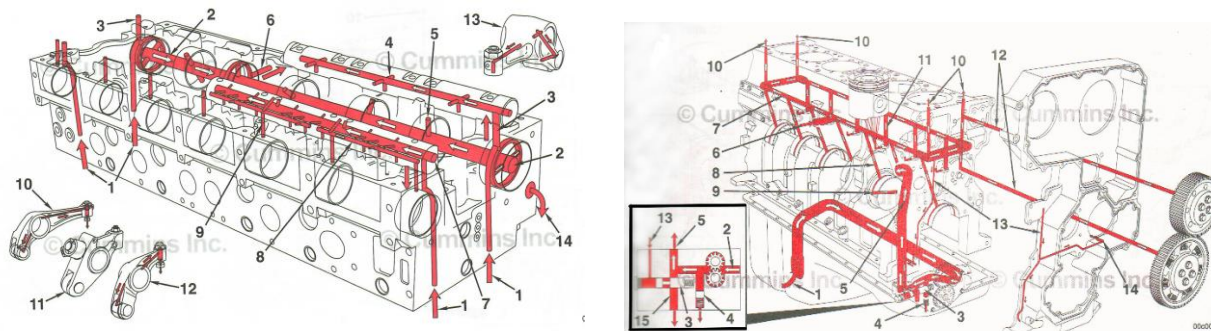
9.1.1. Хабање елемената СУС мотора

Приликом рада СУС мотора увек долази до трења између суседних додирних површина. Како се услед наведеног трења подиже температура површина које су изложене трењу, доћи ће до ширења материјала, а он условити веће трење.



Слика 25. Мотор Cummins QSX15

Како би смањили трење унутар мотора, морамо обезбедити константно подмазивање додирних површина. То су површине клипно цилиндарског склопа, лежаја коленастог вратила, клипњаче и брегастог вратила, лежаја разних међуосовина и др. Подмазивање мотора вршимо моторним уљем које прописује произвођач мотора. Поред тога, уље побољшава заптивање и доприноси хлађењу мотора, јер предаје топлоту у кућиште радилице и корито за уље, спречава корозију и испира део штетних остатака сагоревања.



Слика 26. Мотор Cummins QSX15 - систем подмазивања [13]

Услед недовољног подмазивања или потпуног прекида подмазивањ долази до повећавања силе трења и пораста температуре што доводи до хабања додирних површина.



Слика 27. Усисно сито уљне пумпе

На сликама је приказано запушење сита на усису уљне пумпе што доводи до отежаног усисаваја уља, недовољног подмазивања, а може довести и до заривавања уљне пумпе и потпуног прекида подмазивања.

Недовољно подмазивање додирних површина елемената у контакту код СУС мотора доводи до оштећења тих површина.

Оштећења се јављају на више различитих елемената и то:

- Оштећење брегастог вратила



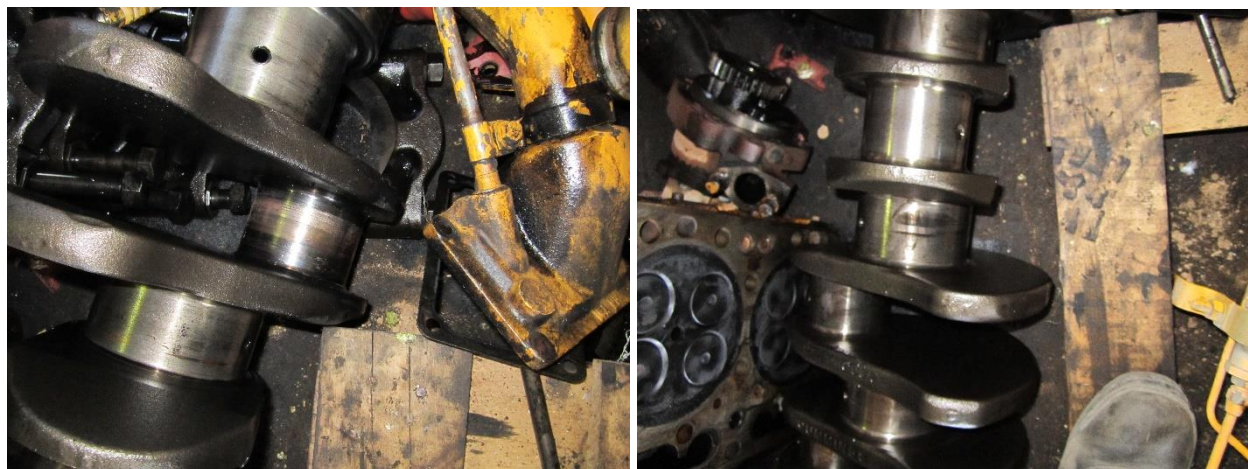
Слика 28. Брегастро вратило

- Оштећења ролница пратиоца брегова брегастог вратила



Слика 29. Пратиоци брегова

- Оштећења коленастог вратила



Слика 30. Коленасто вратило

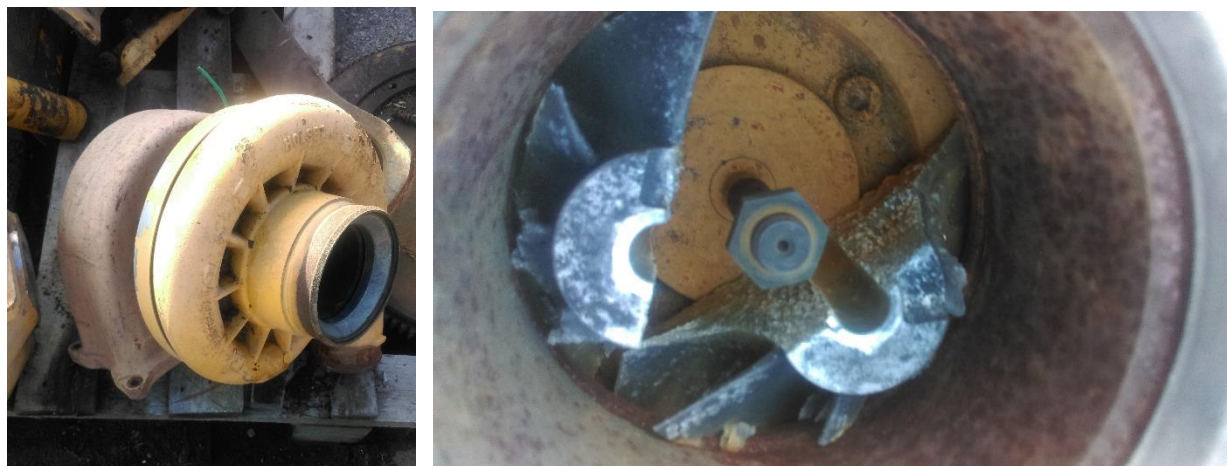
- Оштећења коленастог вратила, лежајева клипњаче и клипњаче мотора.

Настало услед потпуног прекида подмазивања, што је довело до повећана силе трења (а самим тим и температуре) и довело до потпуног заривавања клизних лежајева



Слика 31. Коленасто вратио и клипњача

Турбо компресор је део мотора који је изложен великим температурама. Број обртаја радоног кола турбо компресора је веома велики тако да уље за подмазивање одводи и велики део топлоте. Недовољно подмазивање клизних лежајева доводи до великих оштећења делова.



Слика 32. Квар турбо компресора последица повећања зазора клизних лежајева

9.1.2. Хабање елемената трансмисије

Мењач је конструисан тако да омогућава брзу промену брзина кретања, под пуним оптерећењем, тако што се, хидрауличким путем активирају пакети ламела. Мењач има три брзине за кретање унапред и три брзине за кретање уназад. Зупчаници су монтирани на четири вратила: улазно вратило (вратило са пакетима ламела за кретање напред-уназад), излазни вратило (вратило са пакетима ламела за кретање за прву, другу и трећу брзину), вратило са међузупчаницима и вратило са зупчаником за кретање машине уназад.



Слика 33. Хидраулични мењач типа “Power Shift” –омогућава промену брзина под пуним оптерећењем

Пренос снаге се врши преко пакета ламела (фрикционог пара ламела) које се активирају хидрауличким путем, а деактивирају се силом поруге. У случају када притисак уља није довољан да савлада силу опруге долази до проклизавања ламела и повећана температуре што узрокује оштећење пакета ламела.



Слика 34. Фрикциони пар за пренос снаге

9.1.3. Хабање елемената ходног строја

Због услова у којим раде грађевинске машине на површинским коповима делови ходног строја су највише изложени хабању. Абразивно хабање најугрожавајући механизам хабања због специфичности терена у којем ради механизација.



Слика 35. Хабање горњих ролни гусеничног ланца

Приликом оштећења заптивних елемената долази до истицања уља из доњих ролни. Тада клизни лежајев који се налазе у ролнама раде у условима без подмазивања и долази до заривавања лежајева и оштечења тела ролни.

Од велике је важности на време уочити цурење уља из ролни. Благовременим уочавањем цурења уља могуће је извршити поправку ролне заменом оштећених заптивних елемената и наливањем новог уља.



Слика 36. Хабање доњих ролни гусеничног ланца

Затезни точкови гусеничног ланца као и ролне су делови који су веома изложени хабању због услова у којима раде. Најугицајнији механизам хабања је абразивно хабање. Веома често долази до оштећења запривних елемената и истицања уља што узрокује заривавање лежајева.

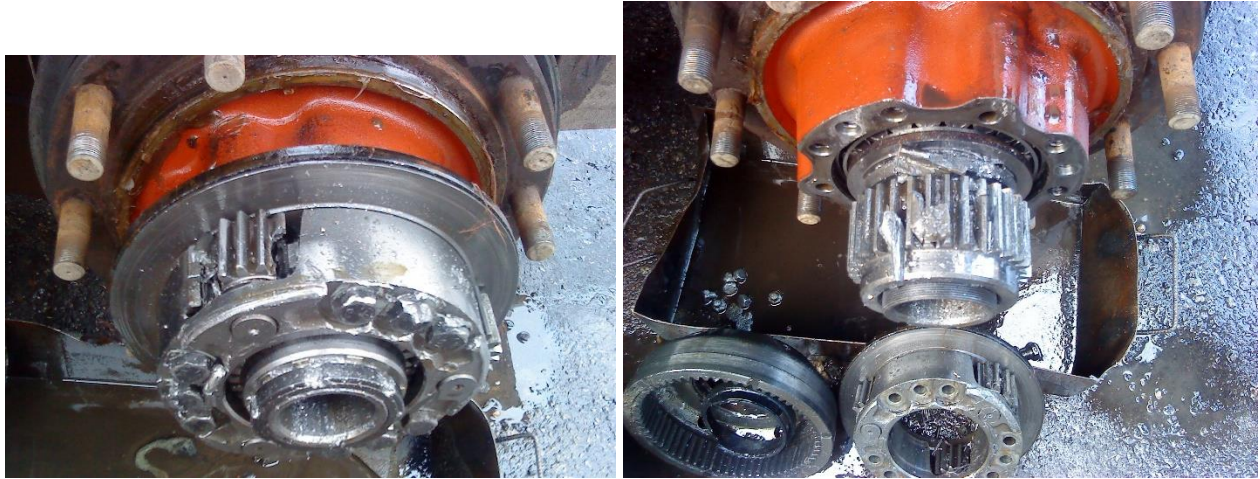


Слика 37. Оштећење затезног точка гусеничног ланца као последица заривавања клизних лежајева

Грађевинске машине на површинским коповима већину времена рада проводе у блату и веома је тешко уочити цурење уља из делова ходног строја. Зато је веома важно вршити чишћење ходног строја на крају сваке смене, али и поштовати време сервиса (на сваких 250 мч рада), при којем се врши детаљно чишћење и прање. То омогућава да се на време уочи цурење што је од пресудног значаја да се спречи велико оштећење делова и омогућила поправка.

9.1.4. Хабање елемената редуктора точка

Лом зуба зупчаника планетарног редуктора точка виљушкара настао услед преоптерећења.



Слика 38. Квар редуктора точка виљушкара услед лома зуба зупчаника

9.1.5. Хабање елемената предњег диференцијала утоварне лопате

Лом зуба зупчаника предњег диференцијала утоварне лопате настао услед преоптерећења.



Слика 39. Квар предњег диференцијала утоварне лопате као последица пуцања зупчаника

9.1.6. Хабање елемената редуктора погона булдозера

Редуктори погона на булдозерима (планетарни редуктори) раде под високим променљивим оптерећењем. До лома зуба зупчаника најчешће долази услед замора материјала.



Слика 40. Лом зуба зупчаника планетарног редуктора погона

Као последица лома зуба зупчаника јављају се велика оштећења на осталим деловима планетарног редуктора.



Слика41. Пуцање планетарних зупчаника



Слика 42. Лом погонског и сунчаног зупчаника

9.1.7. Хабање елемената редуктора погона хидрауличног багера

Редуктори погона (планетарни редуктори) хидрауличних багера због услова у којима раде на површинским коповима изложени су великим оптерећењима, а самим тим веома често долази до кварова.

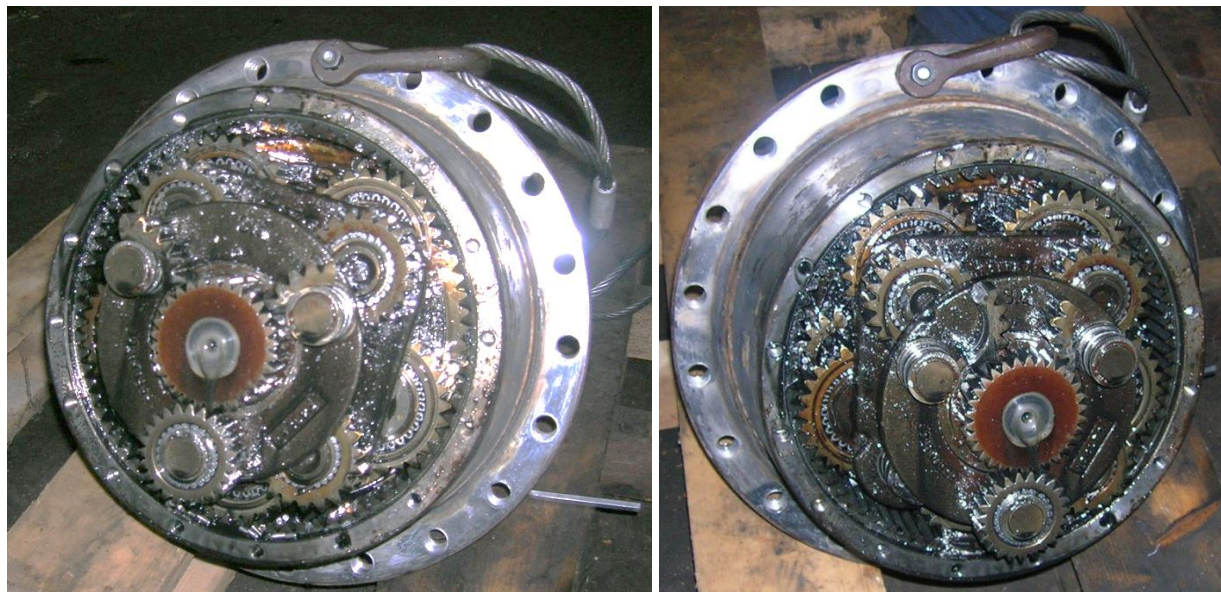
У највећем броју случајева долази до оштећења заптивних елемената, истицања уља и продора воде и земље у редуктор. Ако се цурење уља уочи на време квар се отклања релативно брзо (заменом заптивног елемента и сипањем новог уља) и трошкови поправке нису велики. У случају да руковаоц багера не уочи цурење у почетној фази долази до истицања уља и продора воде и земље унутар редуктора што проузрокује оштећење зупчаника и лежајева редуктора, а трошкови поправке су веома велики.

Када хидраулични багер већи број мото часова проводи у транспорту (од једног до другог места рада) у тешким условима какви су на површинским коповима, долази до повећања зазора и испадања иглици лежајева планетарних зупчаника. Тада долази до лома више зупчаника и оштећења прстенастиг зупчаника (који је саставни део кућишта редуктора).

Отклањање таквих кварова повећава трошкове одржавања, врло често је потребна замена комплетног редуктора.

Превентивне мере које се предузимају су:

- смањење интервала замене уља,
- провера металних опуљака у уљу,
- превентивна замена првог планетарног реда (који најчешће страда) на одређеном броју израђених радних сати машине



Слика 43. Квар редуктора погона хидрауличног багера као последица испадања иглице игличастог лежаја

10. Централно подмазивање

Системи за централно подмазивање, с обзиром на радне и конструктивне карактеристике, широко се примењују у машиноградњи, а најчешће за подмазивање клизних и котрљајућих лежачева, као и других врста триболошки угрожених парова, у тешкој индустрији и другим гранама машиноградње са екстремно тешким условима рада.

Савремене машине и индустријска постројења као и повећан степен механизације и аутоматизације у разним областима индустријске производње довели су до наглог развоја уређаја и система за подмазивање. О значају и потребама за квалитетним подмазивањем говори нам искуство, јер је у просеку сваки шести квар у механизмима из триболошких разлога, а трошкови изазвани неквалитетним подмазивањем могу да износе и до 60% од укупних трошкова одржавања.

Системи централног подмазивања обезбеђују:

- смањење потрошње мазива 20 до 50%;
- сигурно и оптимално подмазивање свих подмазних места, што даје сигурност и поузданост рада;
- повећање степена искоришћења машине, јер се не зауставља због подмазивања;
- хуманизација рада, јер се радник ослобађа заморних, тешких и по здравље опасних послова;
- смањење потрошње енергије, јер се подешавањем интервала и количине мазива може постићи минимално трење између тарних површина.

10.1. Систем централног подмазивања грађевинских машина

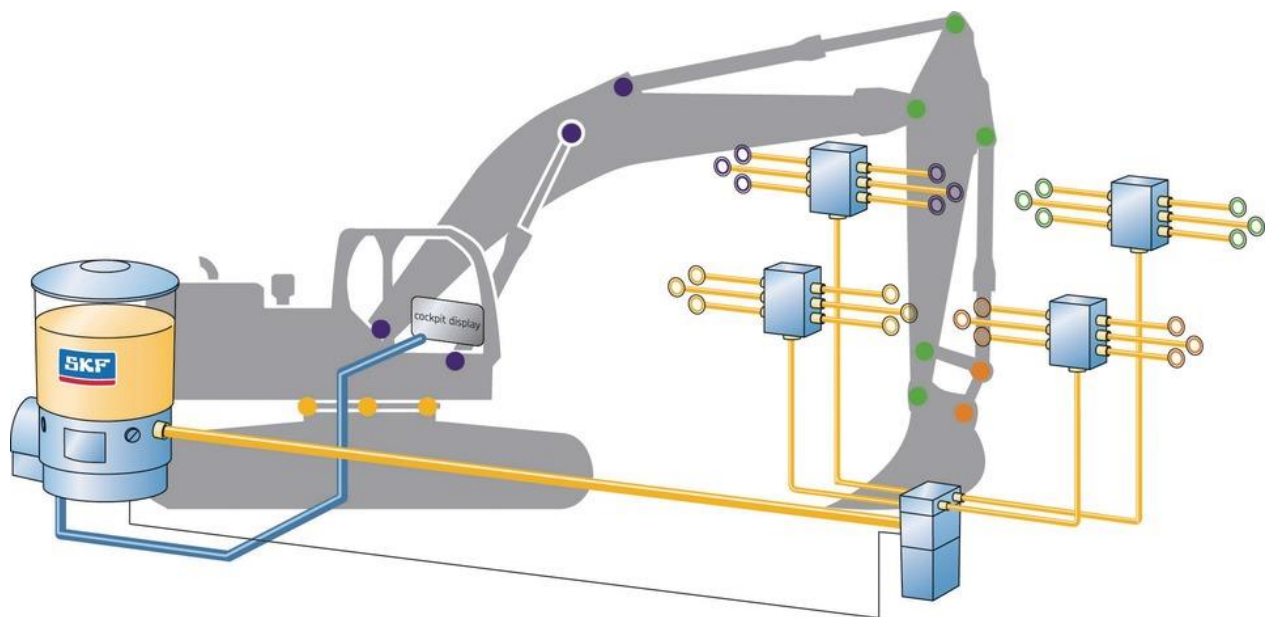
Најчешће коришћени систем централног подмазивања грађевинских машина је систем прогресивног типа, који се формира уградњом прогресивних елемената за дозирање у инсталацију за централно подмазивање. Спадају у групу система за подмазивање са одливом/губитком средства за подмазивање такозвани „total loss lbrication system”.

Принцип рада система за централно подмазивање прогресивног типа заснива се на следећем:

Агрегат за централно подмазивање потискује средство за подмазивање примарним водом система до елемената за дозирање прогресивног типа. Порастом притиска у потисном воду постепено се савлађују отпори настали као последица:

- Силе трења покретних елемената прогресивних дозатора,
- Локалних отпора струјања у секундарним водовима инсталације за централно подмазивање
- Отпора на самом месту подмазивања и др.

Сам циклус подмазивања, односно потискивања дозиране количине средства за подмазивање одвија се под притиском од 15 до 250 бара у зависности од отпора у систему.



Слика 44. Шематски приказ система централног подмазивања [14]



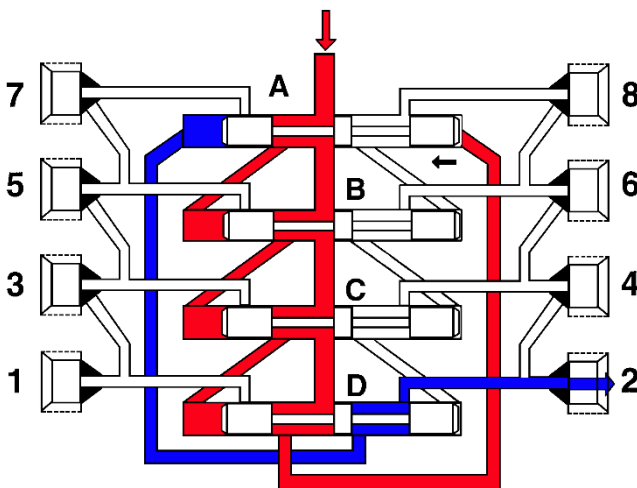
Слика 45. Централно подмазивање хидрауличног багера[15]

10.2. Прогресивни разводник

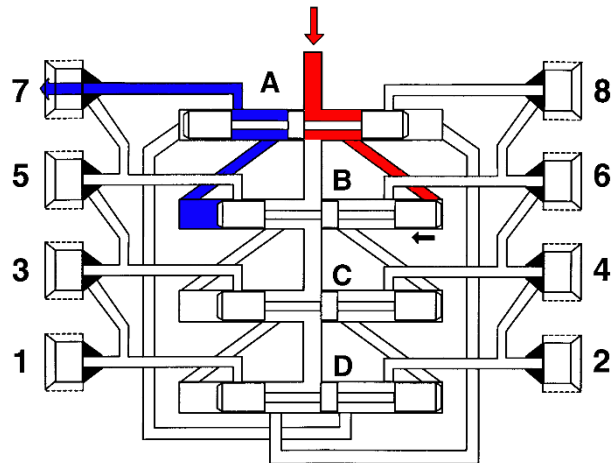
Пумпа транспортује мазиво кроз прогресивни разводник које при проласку потискује одговарајући клип који испред себе потискује мазиво које је дозирано. Ова количина мазива ће даље бити транспортована у место подмазивања коме је кроз разводник отворен пут мазиву. Све док се ова количина мазива не транспортује у место подмазивања клип који мазиво потискује неће доћи у крајњи положај и неће бити отворен други пут за мазиво. Пумпа савлађује одговарајући отпор у месту подмазивања и у разводнику. Ако је отпор исувише велики (већи од притиска на који је подешен вентил сигурности), тада ће се вентил сигурности отворити и мазиво на њему излази. У случају да се прекине подмазивање, ток мазива кроз прогресивни разводник се наставља на месту где је прекинут.

10.2.1. Принцип рада прогресивног разводника

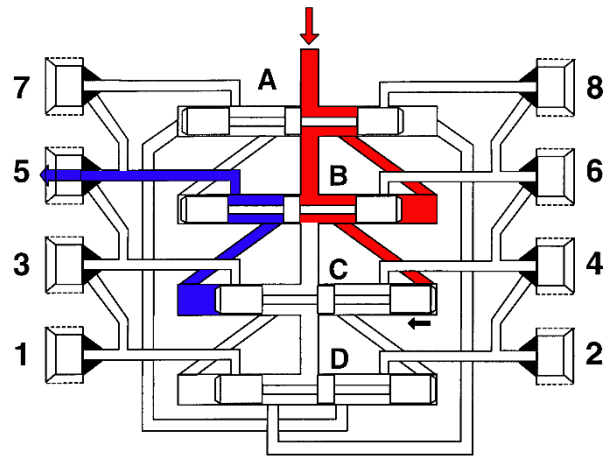
Из пумпе мазиво се транспортује преко прикључака са заптивачем на навоју у прогресивни разводник. Ако су клипови у разводнику у крајњем десном положају мазиво под притиском пролази и делује на клипове Б, Ц и Д са леве стране али пошто су ти клипови у крајњем десном положају они немају могућност померања. Мазиву је отворен пут ка левој страни клипа А. Под притиском мазива клип А се покреће у крајњи леви положај и при томе потискује мазиво које се налази испред његове леве стране у излаз број 2. [16]



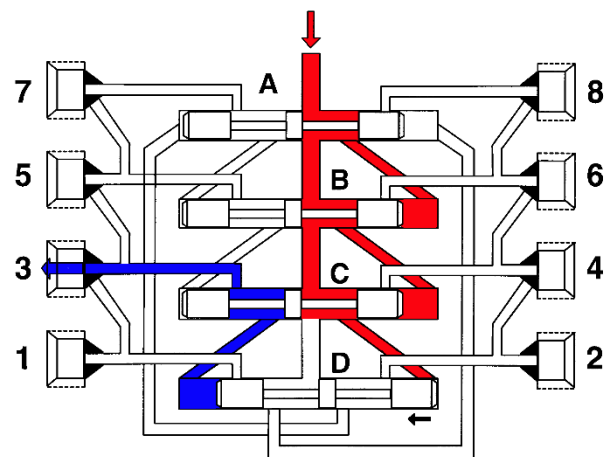
Пошто је клип А померен у крајњи леви положај, отворен је преко њега пут мазиву из пумпе ка десној страни клипа Б. Под притиском мазива клип Б се покреће у крајњи леви положај и при томе потискује мазиво које се налази испред његове леве стране у излаз број 7.



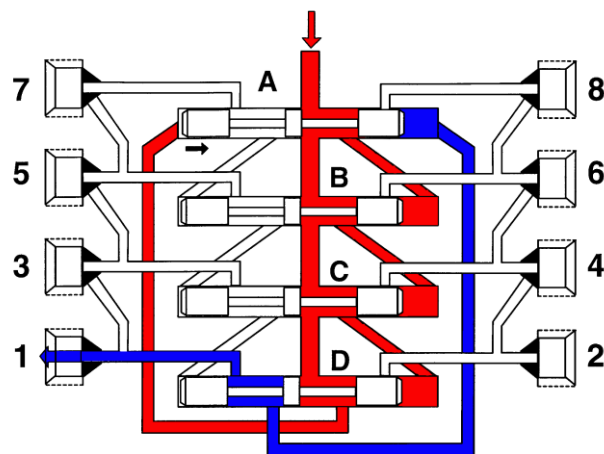
У крајњем левом положају клипа Б отворен је преко њега пут мазиву из пумпе ка десној страни клипа Ц. Под притиском мазива клип Ц се покреће у крајњи леви положај и при томе потискује мазиво које се налази испред његове леве стране у излаз број 5.



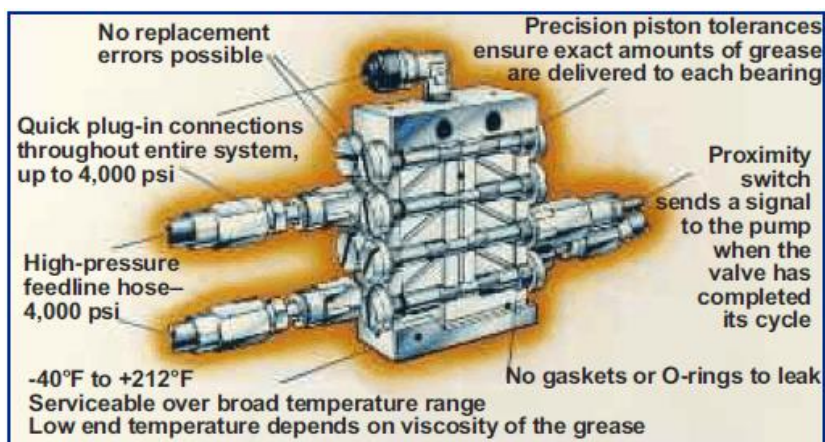
У крајњем левом положају клипа Ц отворен је преко њега пут мазиву из пумпе ка десној страни клипа Д. Под притиском мазива клип Д се покреће у крајњи леви положај и при томе потискује мазиво које се налази испред његове леве стране у излаз број 3. Сви клипови су у крајњем левом положају. [16]



Пошто је померањем клипа Д у крајњи леви положај отворен пут мазиву ка левој страни клипа А циклус подмазивања се понавља на симетричан начин и мазиво се транспортује редом у излазе 1, 8, 6 и 4. Тиме је завршен један циклус подмазивања. Уколико се у разводник настави са транспортом мазива из пумпе овај циклус ће се понављати. Број циклуса зависи од протока и времена рада пумпе, односно од количине мазива која се транспортује у разводник. [16]



"SSV" Разводни вентил



Слика 46. Прогресивни разводник [17]

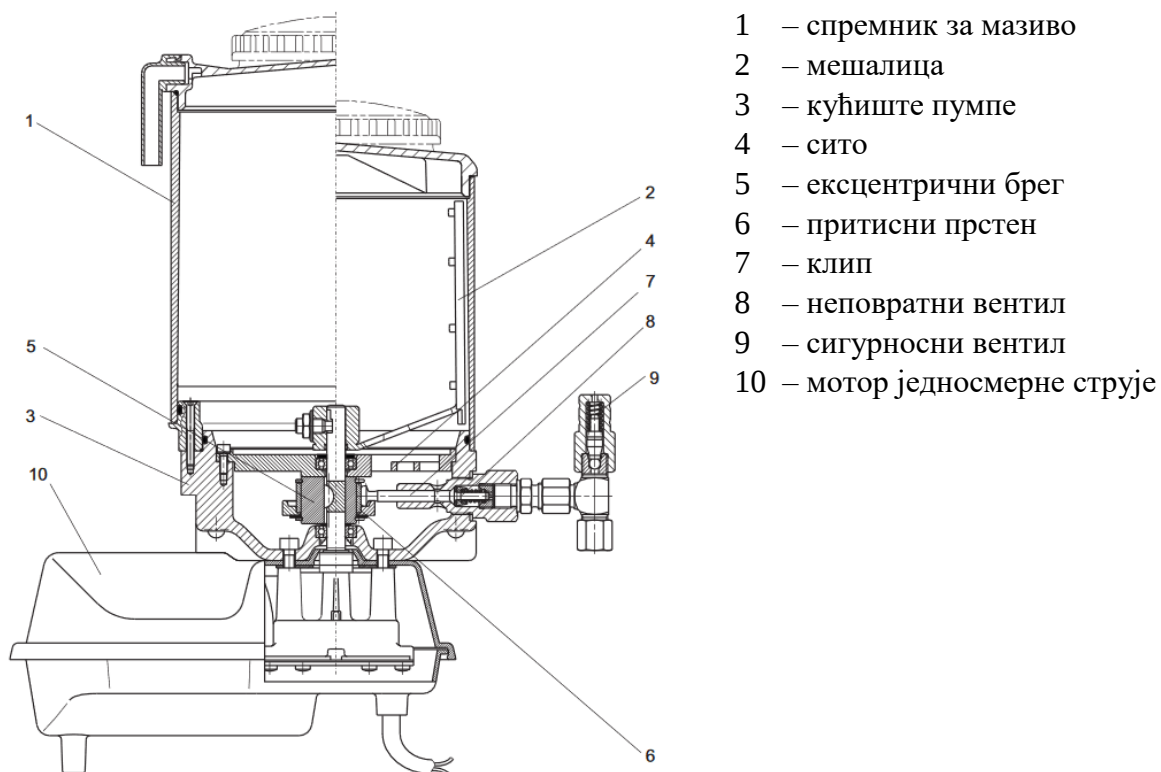
10.3. Пумпе за централно подмазивање

У зависности где се примењују, броја тачака које се подмазују, врсте и количине потрошње мазива. Пумпе могу бити зупчасте или клипне са ручним, електричним или пнеуматским погоном.

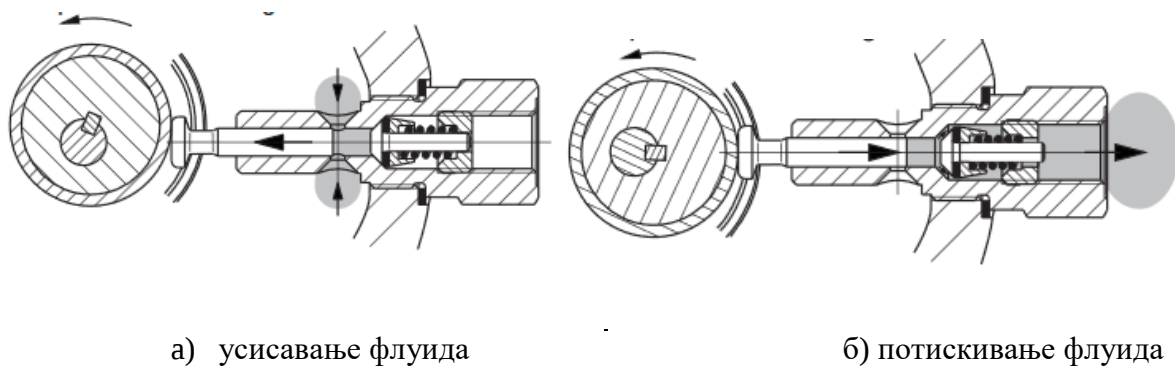


Слика 47. Електрична пумпа за централно подмазивање[18]

Мотор једносмерне струје (10) континуирано покреће ексцентрични брег (5) и притисни прстен (6). Овај ексцентрицитет утиче на уисни притисак и притисак на клип за испоруку (7), при чему интегрисани неповратни вентил (8) спречава усисавање медија за испоруку из главног вода. Мешалица (2) гура мазиво из spremника за снабдевање (1) кроз сито (4), које смањује све ваздушне мехуриће, до уисног подручја у кућишту пумпе (3). Стругач на мешалици (2) омогућава визуелну проверу запремине мазива која је још увек присутна у провидном контејнеру за снабдевање (1). Вентил за смањење притиска (9) је унапред подешен на 280 бара.



Слика 48. Електрична пумпа за централно подмазивање [19]



Слика 49. Принцип рада пумпног елемента [19]

10.4. Управљачка јединица

Управљачки уређај „EP-tronic“ је интегрисана јединица пумпи за подмазивање које за флуиде користе маст и уља.



Слика 50. Управљачка јединица [19]

У контролном прозору интегрисане EP-tronic контроле налазе се два окретна прекидача. Десна за подешавање времена циклуса (Cycle time), а лева за подешавање времена подмазивања (lubrication time).



Слика 51. Шематски приказ подешавања времена подмазивања (lubrication time) и времена циклуса подмазивања (Cycle time) [19]

Време циклуса подмазивања представља време од почетка једног до почетка другог подмазивања, а време подмазивања представља време трајања једног подмазивања.

Подешавањем времена подмазивања и циклуса подмазивања може се подесити оптмално подмазивање уз оптмалну потрошњу мазива за дате елементе и радне услове.

11. Закључак

Грађевинска машина као техничко средство представља скуп веома сложених трибомеханичких система састављених од низа подсистема који представљају, такође, сложене трибомеханичке системе. Веома је битно да сваки систем ради без застоја, са што мање отказа и поуздано, односно да буде што мање ван функције. Отуда потиче и стална тежња за повећањем поузданости техничких система у процесу њиховог развоја, рада и одржавања.

Укупни квалитет и трајност машина само делимично зависи од њиховог иницијалног квалитета, односно од квалитета компонената које су уграђене у машине приликом њихове градње. За постизање квалитетног одржавања и високе поузданости машина, а са друге стране минималних трошкова, потребно је остварити што бољу сарадњу система одржавања и система експлоатације машина. У прилог томе да одржавање непосредно утиче на промене стања машина може се употребити аргумент да сваки произвођач машина сваког појединачног корисника на више различитих начина упознаје са потребом извршавања читавог низа поступака одржавања. Ово се односи не само на садржај већ, што је нарочито битно, и на тренутке у којима те поступке треба спровести. Произвођач машина прописује и доставља купцу план периодичног одржавања и сервисирања машине као и спецификацију врсте мазива и уља за подмазивање.

Прописани план одржавања произвођача се односи на нормалне услове рада. Због екстремних услова рада грађевинских машина на површинским коповима временски интервали између сервиса се смањују. Велика пажња се посвећује и свакодневним радњама (на почетку или на крају сваке смене), чишење ходног строја, провери ваздушних филтера, контрола нивоа течности, подмазивању клизних лежајева радних елемената.

Највећи број отказа се јавља услед недовољног или неадекватног подмазивања као и услед нарушавања уљног филма између елемената у контакту. Зато се мора посветити велика пажња подмазивању и увек тежити потпуном подмазивању,

Систем централног подмазивања се користи на местима трења у машинама где је потребно сигурно и адекватно подмазивање са количинама мазива које омогућују правилан рад механичких склопова у спреси. Да би се то остварило систем подмазивања и његове компоненте треба правилно пројектовати, инсталирати, користити и одржавати.

12. Литература:

- [1] Војно технички гласник 2/09, Анализа степена критичности техничких система, Мајор мр.Сретен Перих, дипл.инж., Војна академија.
- [2] С. Митровић, М. Бабић, Основи трибологије- предавања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2011.
- [3] <http://www.maziva.org/podmazivanje/tribologija> - јануар 2019
- [4] С. Танасијевић, Основи трибологије машинских елемената, „научна књига“ Београд 1989.
- [5] http://tribolab.mas.bg.ac.rs/radovi/2005_01.pdf -децембар 2018
- [6] Трибомеханички системи – предавања Др С. Митровић, Факултет инжењерских наука, Крагујевац
- [7] http://www.rgf.rs/predmet/RO/VII/20semestar/Eksploatacija/i/odrzavanje/gasovodnih/sistema/Predavanja/EiOGasS_12.pdf – новембар 2018
- [8] <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1451-1975/2010/1451-19751004033M.pdf>-децембар2018. Progresivni sistemi za centralno podmazivanje Dr Medenica Miroslav, Dr Dušan Šotra, Visoka tehnička škola, Beograd
- [9] <http://www.trusourceintl.com/construction.html> -децембар 2018
- [10] <http://www.sunwaymarketing.com.my/excavator-components-parts> - децембар 2018
- [11] <https://bulldozer831.wordpress.com/category/bulldozer/>-децембар 2018
- [12] <https://www.pinterest.com/pin/582794008002096490/>– новембар 2018
- [13] Operation and Maintence Manual Industrial and Pover Generation QSX15 Engines
- [14] <https://www.oemoffhighway.com/drivetrains/hardware/article/10176379/central-lubrication-systems-can-help-keep-mobile-offhighway-equipment-working-longer>– новембар 2018
- [15] <https://www.lubetechnologies.com/auto-lubrication-systems.html>– новембар 2018
- [16] <https://www.doverbrakeinc.com/downloads/catalogs/LINCOLN/MOBIL/CHASSIS/LUBRICATIONSYSTEMS.pdf> -децембар 2018
- [17] <http://www.lincolnindustrial.com/Catalogs/> -децембар 2018
- [18] <https://beka-lube.com/beka-max-hamax/beka-hamax-ep> -децембар 2018
- [19] <http://www.beka.nl/wp-content/uploads/2014/07/EP1-EN.pdf> -децембар 2018
- [20] http://www.beka.nl/wp-content/uploads/2015/01/09_Control.pdf -децембар 2018