



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Трибологија машинских система

Број индекса: 337/2013

Милош Д. Николић
Анализа хабања елемената кочионог
система путничког возила Лада Рива
мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Доц. др Блажа Стојановић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру мастер рада кандидат треба да објасни принцип функционисања кочионог система путничког возила. Поред тога треба да изврши класификацију и поделу кочионог система. Рад треба да садржи и основне информације о примењеним материјалима за израду појединих елемената кочионог система. Кандидат треба да изврши мерење промена геометриских величина елемената кочионог система путничког возила Лада Рива током експлоатације. На основу измерених вредности кандидат треба да изврши анализу хабања појединих елемената кочионог система путничког возила.

Препоручена литература:

- [1] **Танасијевић С.**, Основи трибологије машинских елемената, Научна књига, Београд, 1989
- [2] **Adebisi A.A.**, Metal matrix composite brake rotor: Historical development and product life cycle analysis, International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, Volume 4, pp. 471-480, Malaysia Pahang, 2011
- [3] **Тодоровић Ј.**, Кочење моторних возила, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1988

Крагујевац, септембар 2015.

ментор:

Доц. др Блажа Стојановић

ИЗЈАВА

Изјављујем да сам овај мастер рад урадио самостално, служећи се стеченим знањем и искуством као и наведеном литературом.

У Крагујевцу, септембар 2015.

Милош Николић 337/2013

РЕЗИМЕ

Предмет овог мастер рада је мерење хабања елемената кочионог система код путничког возила Лада Рива. Извршен је експеримент праћења кочионог система у одређеном временском интервалу. Описане су функције главних делова кочионог система (главни кочиони цилиндар, вакуум уређај, помоћни кочиони цилиндри, кочионе чељусти, кочиони диск, кочионе плочице, кочиони добош и кочионе папуче). Детаљно је представљен план експеримента са основним параметрима, вредностима и праћеним елементима током испитивања. Разматран је значај формирања табела измерених вредности; добијене су вредности хабања кочионих елемената и приказане су преко дијаграма. Урађена је упоредна анализа хабања где су сврстане вредности левог и десног точка, након чега су утврђене вредности одступања појединих праћених елемената.

Кључне речи: Кочиони систем, Елементи кочионог система, Трибомеханички систем, Хабање кочионог система

ABSTRACT

The subject of this master thesis is the measurement of the wear elements of the brake system in passenger cars Lada Riva. Experiment tracking of the brake system within a specified time interval was performed. The functions of the main parts of brake system (brake master cylinder, a vacuum device, additional brake cylinders, brake calipers, brake discs, brake pads, brake drum and brake shoes) have been described. A detailed plan of experiment with the basic parameters, values and followed elements during the test was presented. Importance of establishing a table of measured values was discussed; the values of wear elements of the brake system were obtained and were presented in the diagram. A comparative analysis of wear in which are classified values of the left and right wheel were performed, after which the values of individual deviations monitored elements were determined.

Key words: Brake system, Elements of brake system , Tribomechanical system, Wear of the brake system

САДРЖАЈ

1. УВОД	2
2. КОЧИОНИ СИСТЕМ	6
2.1 ДЕЛОВИ КОЧИОНОГ СИСТЕМА	6
2.1.1 Добош кочнице	6
2.1.2 Диск кочнице	10
2.2 ЕЛЕМЕНТИ ХИДРАУЛИЧНОГ СИСТЕМА ЗА КОЧЕЊЕ	11
2.2.1 Хидраулични системи са серво појачивачем	15
2.2.2 Кочiona течност	16
2.3 ПРИМЕНА МАТЕРИЈАЛА ЗА ИЗРАДУ ЕЛЕМЕНАТА КОЧИОНОГ СИСТЕМА	18
2.3.1 Материјали за израду кочионих чељусти	19
2.3.2 Материјали за израду кочионих дискова	19
2.3.3 Материјали за израду кочионих плочица	20
2.3.4 Савремени фрикциони материјали	22
2.3.5 Фрикциони модификатори	22
2.3.6 Израда фрикционог материјала	23
3. ТРИБОЛОШКИ ПРОЦЕСИ КОД КОЧИОНИХ СИСТЕМА	24
3.1 ОСТВАРИВАЊЕ ПРИТИСКА ПОМОЋУ ТРЕЊА	24
3.2 ОСТВАРИВАЊЕ КОНТАКТА ЧВРСТИХ ТЕЛА ПРИ ТРЕЊУ	28
3.3 ХАБАЊЕ КОЧИОНОГ СИСТЕМА	29
3.4 ИДЕНТИФИКАЦИЈА ТРИБОМЕХАНИЧКИХ СИСТЕМА	31
4. ЕКСПЕРИМЕНТ МЕРЕЊА	34
4.1 ПЛАН ЕКСПЕРИМЕНТА	34
4.2 РЕЗУЛТАТИ ПУТНИХ ИСПИТИВАЊА	35
4.2.1 Анализа добијених резултата хабања кочионих дискова	40
4.2.2 Анализа добијених резултата хабања кочионих плочица	42
4.2.3 Анализа добијених резултата хабања кочионих добоша	46
4.2.4 Анализа добијених резултата хабања кочионих папуча	49
4.3 УПОРЕДНА АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА	53
5. ЗАКЉУЧАК	61
ЛИТЕРАТУРА	62

1. УВОД

Трибологија је научна дисциплина која обухвата истраживање појава и процеса на површинама које су у међусобном деловању, директном или индиректном додиру и релативном кретању. Назив трибологија потиче од грчке речи *TRIBOS* (τριβος) што значи трење или трљање и речи *LOGOS* – наука, док је у појединим земљама позната под називом трење, хабање и подмазивање. Код проучавања триболошких феномена користе се подручја из више наука: органска и неорганска хемија, физичка хемија, физика, познавање машинских елемената, електроника, механика, наука о металима, термодинамика, технологија, организација производње итд. Трибологија је веома важна мултидисциплинарна наука која се, нарочито последњих тридесетак година, интензивно развија.

Сложени механизми и процеси у појавама трења и њихове последице при различитим условима, а посебно процеси хабања површина и могућности њиховог смањивања, предмет су истраживања науке под називом *трибологија*. Под појмом "трење" подразумева се, у основи, процес супротстављања кретању тела. Ово супротстављање кретању тела може да се мери деформацијом средине у којој се тело креће или утрошком рада неопходног за остваривање кретања. Трење које се јавља у зонама контакта елемената трибо-механичких система свих врста је *спољашње трење*. Спољашње трење дефинише се и као процес дисипације енергије, који се јавља при релативном кретању два тела у додиру, а остварује се у зонама реалног контакта. При обликовању предмета било којом врстом обраде деформисањем, у унутрашњости масе материјала јавља се *унутрашње трење*, као последица релативног кретања између елементарних честица. Унутрашње трење јавља се и у другим случајевима деформисања чврстих тела [1].

Трење се код кочења остварује између два елемента: покретног елемента глатке површине (ротационог окретања диска) и облоге плочица које се прислањају и потискују покретни елемент диск. Код моторних возила, кочиони диск се потискује са обе стране симетрично, односно диск потискују фриксионе облоге (плочице) које су смештене на кочионим чељустима. Да би се остварило заустављање моторног возила помоћу кочница један од најутицајних фактора је трење, које код кочница има јако позитиван фактор који тежи томе да се његова сила максимално искористи како би интервал заустављања возила био што краћи. У пракси је трење најчешће један од негативних утицајних фактора где се тежи да се његово присуство сведе на минимум.

У раним данима аутомобилске индустрије, крајем XIX века, кочнице су се сматрале неважним делом додатне опреме. Тадашњи инжењери су се фокусирали на повећање снаге мотора. *Wilhelm Maybach* уложио је много труда да би повећао брзину свог четворотактног мотора, мале брзине кретања раних моторних возила оправдавале су тадашњу филозофију о непотребности кочница.

Трење у ланчаном преносу било је толико велико да је обезбеђивало довољну зауставну силу (самокочивости) без употребе специјалних кочница. У то су се време за успоравање и заустављање возила углавном користиле појасне кочнице, кочионе папуче и клинасте кочнице којима је возач ручно управљао помоћу система полуга или ужади. Ти уређаји за кочење нису били посебно конструисани за моторна возила, већ су само били пренесени са коњских запрега. Већ 1902. године развијене су и друге врсте много ефикаснијих кочница које су још увек биле механички покретане. *Frederick William Lanchester* изумео је диск кочнице, док су кочиони добоши настали из два решења: унутрашње кочионе папуче коју је конструисао *Louis Renault* и *Maybachove* спољне појасне кочнице. Диск кочнице неће ући у масовну производњу следећих 50 година, све до појаве хидрауличних покретаних диск кочница. Све до 1950. године светом моторних возила владале су кочнице са кочним добошем. Од 1924. године надаље спољне појасне кочнице масовно су биле замењиване унутрашњим кочионим папучама због своје изложености атмосферским појавама [2].

Механичка кочница са унутрашњим кочионим папучама користила је ручицу за притискање кочионих папуча на унутрашњи кочиони добош који је био директно повезан са точком. У каснијим проналасцима хидраулични цилиндар заменио је полугу као извршни орган. Због једноставне, чврсте и јефтине конструкције, ова је кочница добила назив *simplex*. Та се врста кочница користи још и данас као паркирна кочница на задњим осовинама возила мањих маса, са хидрауличким цилиндром честа је и код новопроизведених возила ниже класе. Упркос очигледним недостацима, многи произвођачи аутомобила годинама су користили механичке кочионе системе на свим точковима. Чак су у фирми *Maybach Motorenbau*, познатој по својој иновативности, користили механичке кочнице све до престанка производње 1941. године, упркос чињеници да су се у међувремену развили и масовно производили много ефикаснији кочиони системи [2].

Кочнице су уређаји за успоравање, односно потпуно заустављање возила или другог покретног тела. Кочнице производе силу или обртни момент супротног смера од смера окретања, па тиме кинетичку енергију тела окретања претварају у неки други облик енергије. Најчешће се кочнице израђују тако да трењем производе силу кочења, па због тога се код кочница кинетичка енергија тела приликом окретања претвара у топлоту. Притисак на кочионе облоге, диск кочница мора бити знатно јачи, него притисак на врху облоге због чега се диск кочнице израђује са додатним серво појачивачем. Услед хабања кочионог система долази до оштећења површина материјала машинских елемената у посредном или непосредном контакту и међусобном релативном кретању своде се на врло ниске вредности. То осигурава, у највећем броју случајева, врло споре промене геометријског облика површина или толеранција димензија машинских елемената и мале промене металуршких и механичких својстава материјала. Све то повлачи са собом дуг век трајања елемената (поготово машинских), промену њихових перформанси у дозвољеним границама, а тиме и повећану сигурност у изненадном отказу њихове функционалности. Хабање се у најширем смислу дефинише као непожељно одстрањење материјала са површине без обзира на узрок.

Одређено хабање материјала површина у контакту и међусобно релативном кретању у одређеној средини мора се сматрати нормалном појавом.

Поред одређеног умереног хабања материјала површина која се данас сматра нормалном појавом у знатном броју случајева, у пракси наилази се на појачано и абнормално високо хабање и оштећења површина која у релативно кратком временском периоду може довести до отказа и лома машинског елемента, а тиме и до отказа рада машина па чак и целог погона.

За пренос силе до покретног дела кочнице, користе се четири начина:

- Чврстом везом: ретко се користи у данашње доба за радне кочнице, са изузетком бицикала и мотоцикала, а у аутомобилима се углавном користе за паркирну кочницу. Потребна је велика сила на команди за кочење да би се кочнице активирале,

- Хидраулично: користи се код аутомобила и лакших теретних аутомобила. Команда кочнице потискује уље које се цевима доводи до хидрауличких цилиндара који потискују кочионе облоге,

- Зрачно: увек су повезане са уградњом једноставног серво-уређаја где се командом кочнице управља вентилом који отвара путем сталног зрака, а тај стални зрак потискује кочионе облоге. Тиме је постигнута довољна мала сила на команди кочнице, без обзира на величину кочнице и

- Електромагнетске кочнице: кинетичку енергију окретања претварају у електричну енергију и тиме успоравају кретање. Могу се наћи у тешким возилима као мера за успоравање, не и за заустављање. Најчешће се налазе у електричним трамвајима. Будући да немају делова који се хабају, зато се покретни делови таквих кочница врло мало греју, па су кочнице врло погодне за дуге периоде употребе, на пример за успоравање тешких возила на дуготрајним низбрдицама.

Електрична енергија коју такве кочнице производе се може или претворити у топлоту на предвиђеном електричном опторнику, па се та топлота ослобађа у околину, односно може се ускладиштити или употребити у неку другу корисну сврху (регенеративно кочење). У хибридним возилима, која комбинују моторе са унутрашњим сагоревањем и електрични погон, често се наилази на регенеративне електромагнетске кочнице. Оне код кочења произведену електричну енергију допремају назад у акумулаторе возила и тако омогућују да кинетичка енергија возила приликом кочења сачува и допуни, то јест поново употреби за убрзавање возила када буде потребно.

Хидраулични систем кочења има за задатак да обезбеди континуално успоравање и заустављање возила при свим стањима оптерећења возила у оквиру свих брзина за које је возило конструисано и на свим подлогама. При томе је минимални степен успорења дефинисан, али уз услов да возило остане управљиво. Ово је поприличан скуп захтев и пред пројектантима је веома тежак задатак како да их испуне, поготово што појачање једне особине често доводи до губитка на другој страни. Ако се на кочење гледа као процес супротан убрзању и кочницу као уређај супротан раду мотора, онда се може закључити да је кочница много „јача“ него мотор на возилу.

Код конвенционалних система за кочење (фрикционе кочице) возило се зауставља тако што се кинетичка енергија преводи у топлотну енергију трењем кочионих облога и кочних добоша или дискова. Топлотна енергија се расипа у околину.

Када се као кочиони елементи користе магнетни системи, енергија се троши на формирање вихорних струја у кочионом диску и на термичке ефекте протока тих струја кроз материјал кочионог диска. За сада се ова енергија не може поново искористити и представља чист губитак. Поред тога, постоји још један негативан ефекат грејања, када се између више кочења елементи кочења не могу охладити на почетну температуру, тада се температура са сваким кочењем нагло повећава, губећи при томе потребне особине елемената кочења када се они прегреју. Када се ради о динамичком кочењу при којем се као кочица користи погонски мотор, енергија се у процесу кочења знатно увећава тако што мотор током кочења ради као генератор струје који враћа енергију у акумулатор. Јасно је да је у употреби, економичније оно возило које може увећати већи део енергије кочења у односу на део изгубљене термичке енергије [3].

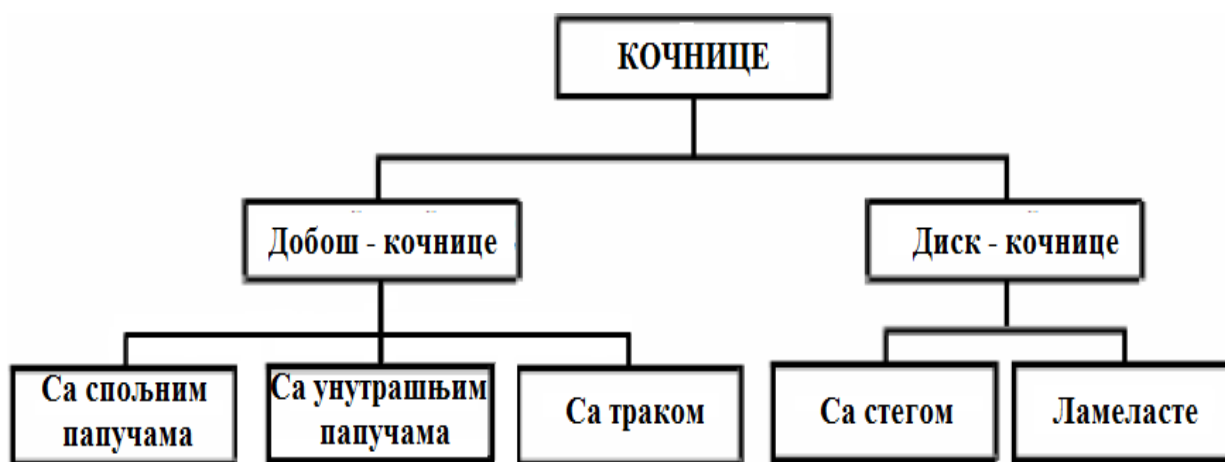
2. КОЧИОНИ СИСТЕМ

2.1 Делови кочионог система

У зависности од начина остваривања кочионог момента врши се подела и кочионих механизма, а у зависности од места на које су постављени могу се поделити на:

- кочионе механизме у точковима и
- кочионе механизме који делују на трансмисију.

Хидрауличне или фрикционе кочнице са основном поделом приказане су на слици 2.1.



Слика 2.1. Подела кочница [4]

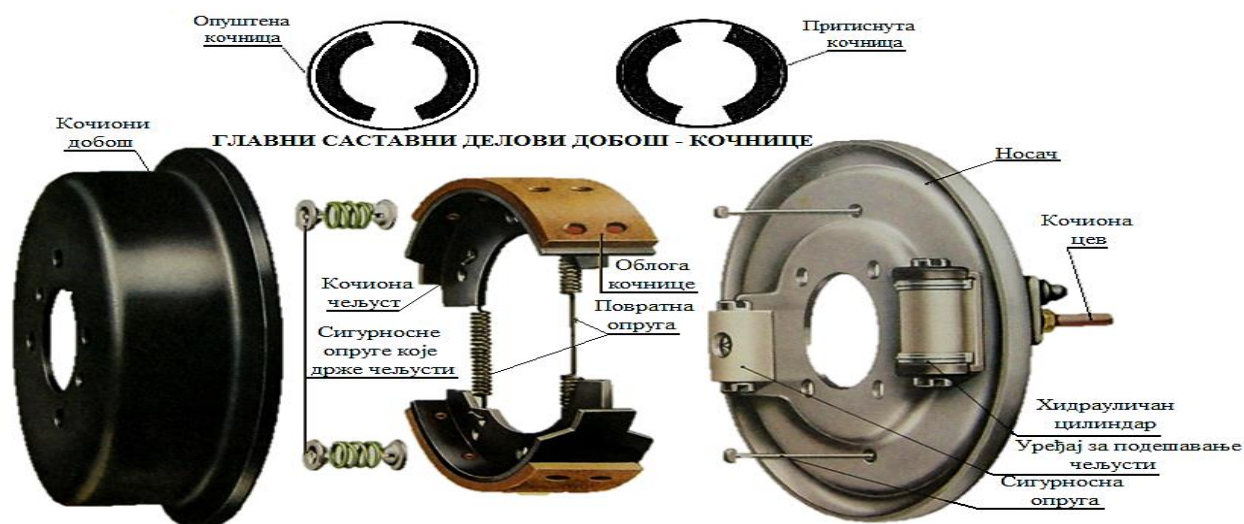
Код путничких возила најчешће су у употреби кочиони механизми који раде на принципу механичког трења (фрикциони кочиони механизми).

2.1.1 Добош кочнице

Фрикциони кочиони механизам који се налази у точку ради на принципу трења које се остварује између кочионог добоша који је чврсто везан за точак (окреће се заједно са њим) и кочионих папуча које су постављене на носачу кочионих папуча.

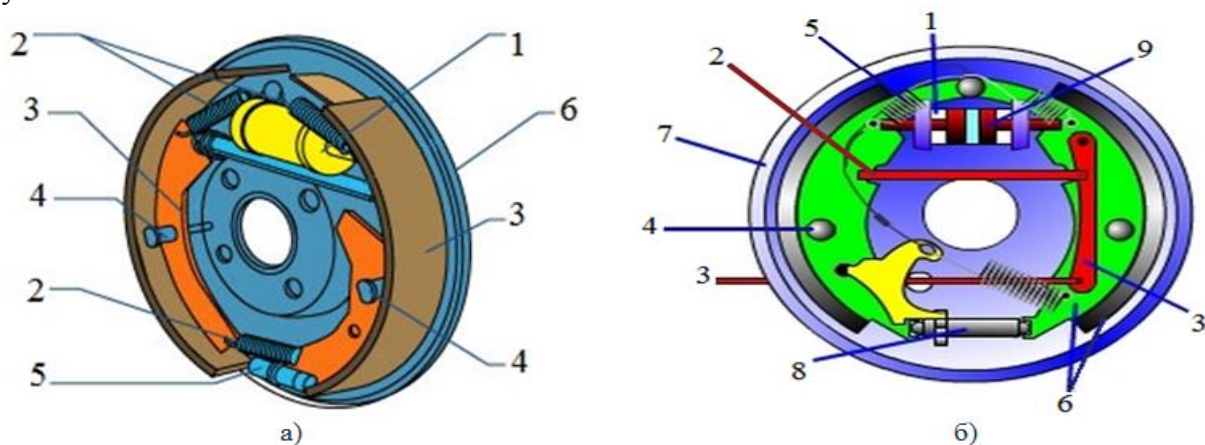
Опуштена кочница је када кочница не ради, чељусти у том случају не додирују добош. Притиснута кочница је када се врши кочење, чељусти су притиснуте уз добош који се окреће, на тај начин успоравају његово окретање до коначног заустављања.

Основни делови фрикционе кочнице (тзв. добош кочнице) приказани су на слици 2.2.



Слика 2.2. Основни делови добош кочнице [4]

На слици 2.3 приказане су типичне конструкције а) предње и б) задње добош кочнице на путничким возилима.



Слика 2.3. Приказ конструкције добош кочнице [5]

На слици 2.3 а) предњи точак се састоји од:

- 1) кочионих цилиндара,
- 2) опруга,
- 3) фрикционог материјала и папуче,
- 4) држача,
- 5) механизма за подешавање и
- 6) носача папуче.

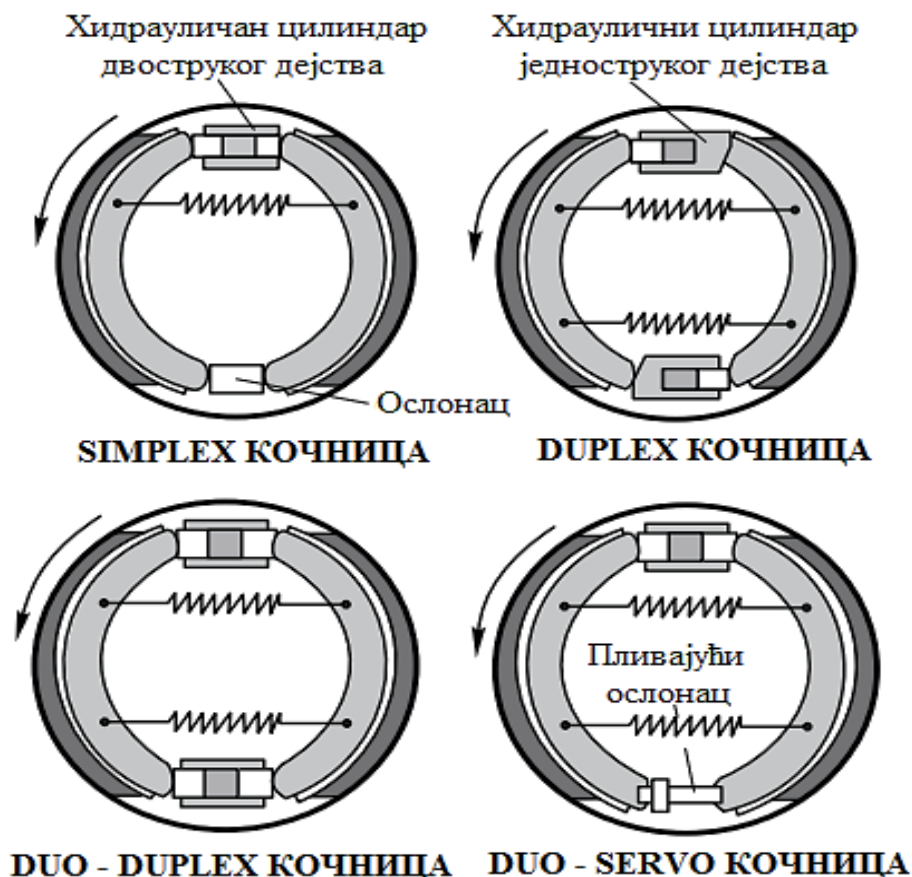
На слици 2.3 б) задњи точак се састоји од:

- 1) кочионог цилиндра задњег,
- 2,3) елемента за механичко активирање кочница,
- 4) држача,
- 5) опруге,
- 6) фрикционог материјала и папуча,
- 7) добоша,
- 8) механизма за подешавање и
- 9) клипа.

Активирање предње кочнице приказано на слици 2.3 а) врши се у конкретном случају хидрауличним путем помоћу кочионог цилиндра (1) чврсто везаног за носач папуче (6). Тако се размичу папуче са залепљеним фрикционим облогама (3) и потискују добош, поред чега претходно морају савладати силу опруге. Активирање задње кочнице приказано на слици 2.3 б) за радну кочницу је хидрауличким путем, а за паркирну механичким путем. На овој слици приказан је добош означен са (7), кочни цилиндар је и овде означен са (1), папуче са залепљеним фрикционим облогама са (6), повратне опруге (5), елементи за аксијално вођење папуча (4), а ексцентри за подешавање (8). Елементи (2) и (3) су делови механизма за механичко активирање папуча, односно паркирно кочење. Начини активирања папуча са фрикционим добош кочницом су врло различити. Код ових кочница проблем представља подешавање папуча услед хабања фрикционих елемената. Подешавање може бити ручно или аутоматско [5].

Са становишта врста кочница, броја хидрауличних цилиндара у пракси се могу наћи следећи типови кочница, слика 2.4 [4]:

- *simplex* добош кочница,
- *duplex* добош кочница,
- *duo - duplex* добош кочница и
- *duo - servo* добош кочница.



Слика 2.4. Типови добош кочнице [4]

Simplex добош кочница користе се код путничких аутомобила на задњој осовини најчешће због мале производне цене. Момент кочења не зависи у великој мери од променљивог коефицијента кочења (2,0 - 2,3), што је резултат дискретне расподеле кочионе силе на левој и десној страни. Кочиона папуча која се налази на предњој страни добоша у смеру кретања возила је примарна папуча и она ствара око 65% момента кочења, док задња секундарна папуча ствара 35% момента кочења. Због тога потискивана папуча има дебљу кочиону облогу и појачано хабање. Други начин оштећења облоге хабањем је због повећања угла налегања потискиване папуче на добошу. Обе кочионе облоге улежиштене су у истој тачки.

Duplex добош кочница има кочионе папуче једнаке конструкције. Свака папуча има своје улежиштење и притиснута је на добош помоћу једноструког цилиндра. Код такве конструкције обе су папуче потискиване са израженим самопојачавањем. Коефицијент кочења креће се између (2,5 - 3,5), што отежава дозирање кочионе силе. Врло је сложено поставити ручну кочницу у ову врсту добоша што ограничава њихову примену.

Duplex, као и *Duo - duplex* кочнице могу бити активирани на различите начине: механички, пнеуматски или хидраулични. Механички и пнеуматски начин активирања веома су сложени, па се ове врсте кочница најчешће активирају хидраулични. Због тога им је смањено подручје примене на лака теретна или путничка возила. На тежим теретним возилима користе се само у комбинацији са серво хидрауличким преносним механизмом.

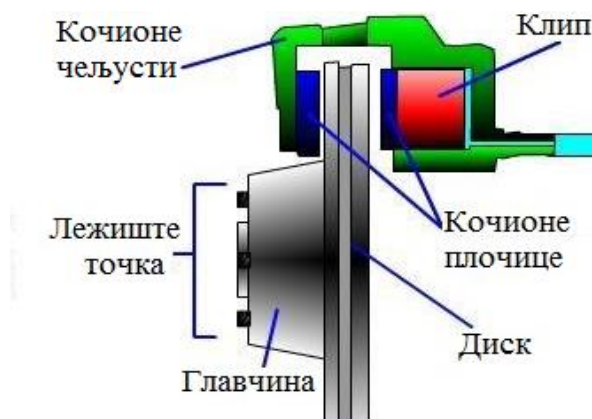
Duo - servo добош кочнице могу произвести врло високе вредности момента кочења јер серијски размештај кочионих папуча ствара јаки самопојачавајући учинак (3,5 - 6,5). Због тога се ова врста кочница најчешће поставља на возила велике носивости. Механизам паркирне кочнице може се врло једноставно поставити код *duo - servo* кочнице. Полука се споји на секундарну папучу, док се на примарну споји потисни штап преносећи реакциону силу.

Оштећење хабањем кочионе облоге може бити изведена ручно помоћу једноставних алата, али се због све дужих сервисних интервала возила изводи аутоматски. Таква оштећења су нужна због смањења хода папуче кочнице. За разлику од *duo - servo* добоша кочница, код обичних серво кочница само је једна кочиона папуча непокретно ослоњена, док се друга кочиона папуча ослања непосредно на њу.

Ручна кочница се може врло једноставно поставити код добош кочница. Сила за покретање се преноси од покретачког уређаја (нпр. полука ручне кочнице) до полука унутар паркирне кочнице помоћу челичне ужади (*Bowdenova ужад*). Већина система паркирних кочница који су тренутно у употреби у потпуности су механички покретани руком или ногом возача. Такви се системи све више замењују електромоторним покретачким системима као што је EPB (*engl. electric parking brake*) [4].

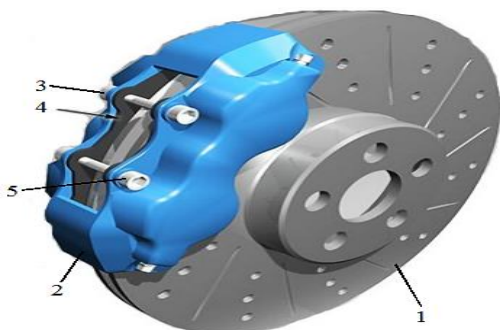
2.1.2 Диск кочнице

Поред добош кочница често се користе и фрикционе кочнице са диском или диск кочнице. Диск кочнице се састоје од кочионе чељусти које су причвршћене преко носача на полуосовину и диска који је директно причвршћен на полуосовину са циљем стварања кочионог момента. Због њихове топлотне стабилности и уједначеног функционисања данас се користе на предњим осовинама готово свих возила. У новије време се врло често постављају и на задње осовине возила. Диск кочнице су осовинске кочнице. Сила стезања клешта преноси се на кочионе облоге (фероде, диск плочице) у осовинском смеру помоћу хидрауличних цилиндара. Кочионе облоге тада делују на храпаве површине кочионог диска. Кочиони клипови и облоге налазе се у кућишту које је намештено попут седла преко диска. Површина кочионих облога прекрива део глатке, прстенасто обликоване површине кочионог диска (кочнице са делимичним налегањем), приказана на слици 2.5.



Слика 2.5. Приказ диск кочнице са делимичним налегањем [6]

Код диск кочница кочионе чељусти се деле на: непомичне кочионе чељусти, оквирне кочионе чељусти и пливајуће кочионе чељусти. Кочнице са непокретним чељустима имају кочионе цилиндри са обе стране кочионог диска, док оквирне чељусти и пливајуће чељусти имају кочионе цилиндри само са једне стране кочионог диска јер су постављене тако да се слободно могу кретати у смеру осовине. Основни елементи диск кочнице приказани су на слици 2.6.



Слика 2.6. Основни елементи диск кочнице [5]

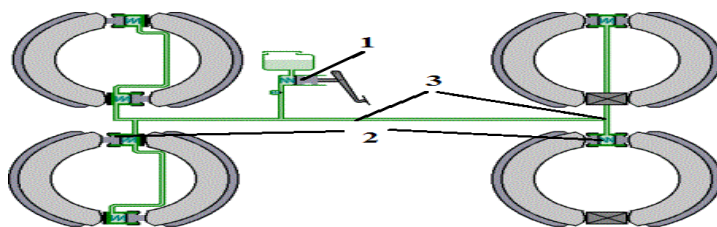
На слици 2.6 диск кочница се састоји од следећих елемената:

- 1) диска,
- 2) кочионе чељусти,
- 3) стезних завртњева,
- 4) фрикционе плоче и
- 5) осигурача плочица.

Овде су поменуте само кочнице које се најчешће могу наћи у пракси и које се уобичајено налазе на точковима возила. Поред овога повремено се могу наћи и решења кочионих механизма који делују на трансмисију возила. Код возила укупне тежине 40 – 50 kN довољна је енергија мишића возача да оствари кочиону силу у режиму наглог кочења, те се као систем за активирање обично користи хидраулични систем. Код возила укупне тежине 80 – 100 kN систем за активирање је обично комбинован: сила коју даје возач обично се повећава серво - уређајем који има посебан извор енергије (обично компресовани ваздух). Систем за активирање је обично хидраулични. Код ових возила често се могу наћи и комбинација где је серво - уређај хидраулични, а систем за активирање пнеуматски.

2.2 Елементи хидрауличног система за кочење

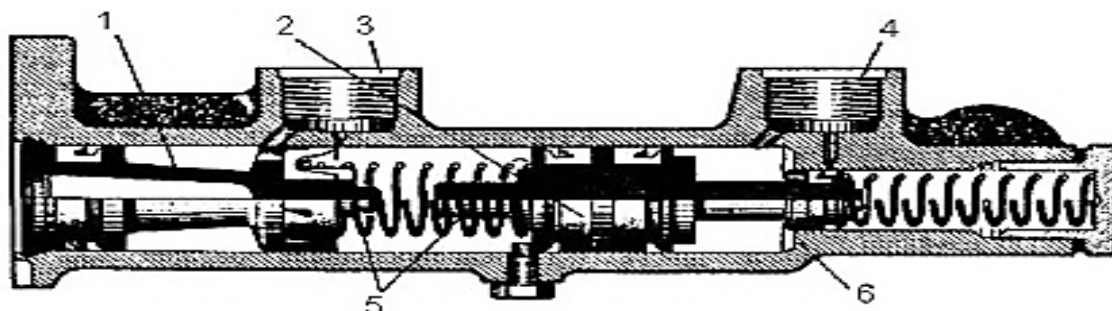
Хидраулични преносни системи постављају се на различите начине. Најједноставнији су они код којих се сила кочења остварује само енергијом возача, док они мало сложенији користе и помоћне уређаје (као серво појачивачи силе кочења). Најсложенији системи су механизми са потпуним серво деловањем код којих се сила кочења у потпуности остварује енергијом серво појачивача. Хидраулични преносни механизми без серво деловања користе се за покретање радне кочнице код лаких путничких возила, лаких прикључних возила, а најчешће се користе на пољопривредним и радним машинама. Код путничких возила већих маса (преко 1,0 t) користе се хидраулични системи са вакуумским појачивачима везанима на усисну грану мотора (ради осигурања вакуума). Такви су системи посебно погодни за коришћење код кочионих система са диск кочицама. Системи са вакуумским појачивачем користе се и код теретних возила и аутобуса (до 10,0 t) највеће допуштене масе, само што се у том случају вакуум или спољашњи ваздух добављају посебним пумпама. Хидраулични механизми са потпуним серво деловањем могу се користити на свим врстама возила, али због своје сложености најчешћи су на путничким и теретним возилима највећих маса. У повољне карактеристике хидрауличних система спада још и могућност истовременог активирања кочница точка на једној осовини, потребне расподеле силе кочења између појединих осовина, те одговарајућа регулација силе кочења. Код овог система пренос силе од педале ножне кочнице ка кочионим механизмима иде преко флуида који је затворен у цевоводима при чему је течност практично нестишљив флуид, приказан на слици 2.7.



Слика 2.7. Шема хидрауличног система за кочење [3]

Рад система се базира на законима хидростатике, а састоји се од главног кочионог цилиндра (1), радних цилиндара (2) и цеви (3).

Ако се делује одређеном силом на педалу ножне кочице, врши се активирање свих радних цилиндара и преноси се исти притисак у зависности од пречника клипа у радном цилиндру, ствара се сила која врши размицање кочионих папуча. Изглед главног кочионог цилиндра је приказан на слици 2.8.

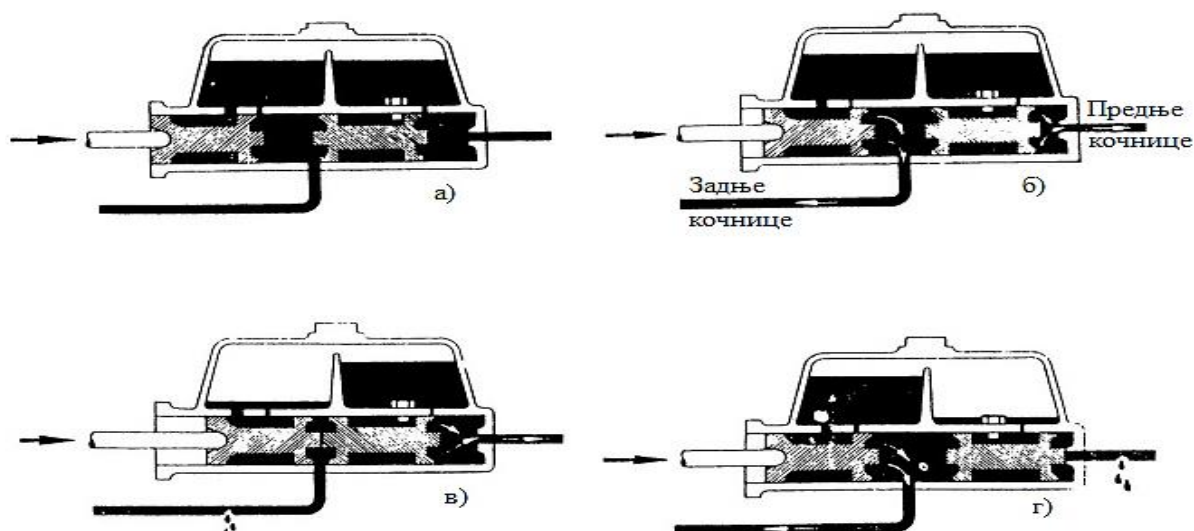


Слика 2.8 Главни кочиони цилиндар са саставним елементима [4]

На слици 2.8 приказан је кочиони цилиндар који се састоји од следећих елемената [4]:

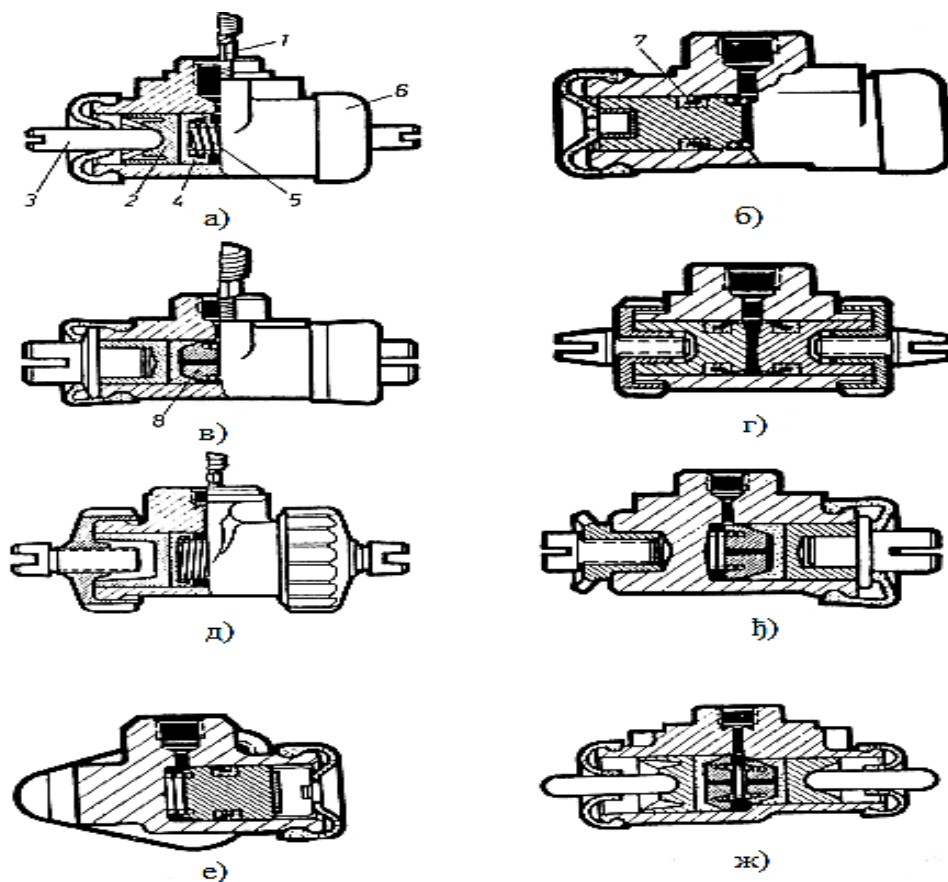
- 1) клипа,
- 2) међу клипа,
- 3) напјајања задњих точкова,
- 4) напјајања предњих точкова,
- 5) испуста на клиповима и
- 6) належуће површине на међуклипу.

На слици 2.9 приказан је начин рада главног кочионог цилиндра у случају отказа прве кочионе групе.



Слика 2.9 Принципи рада главног кочионог цилиндра [3]

Почетно стање, односно почетак кочења одговара слици 2.9 а) док је течење кочионе течности кроз обе групе кочионог система приказано на слици 2.9 б). Отказ кочионе групе задње осовине приказано је на слици 2.9 в). У том се случају кроз отвор (3) приказан на слици 2.8 испушта кочиону течност из првог радног дела главног кочионог цилиндра и (одговарајућег резервоара кочионе течности), па се клип (1) преко испуста (5) наслања на међуклип (2) потискујући кочиону течност под притиском кроз отвор (4), само за клип кочења предње осовине. Отказ кочионог клипа предње осовине приказан је на слици 2.9 г). У том случају долази до испуштања кочионе течности из другог радног дела главног кочионог цилиндра (и одговарајућег резервоара кочионе течности), па ће се међуклип (2) наслонити на површину (6). Клип ће тада потискивати кочиону течност само у простору кочења предње осовине. Осим главног кочионог цилиндра, врло важан део хидрауличног кочионог система представљају и кочиони цилиндри. Кочиони цилиндри могу бити конструкцијски изведени на низ различитих начина зависно о извршном делу (добош или диск кочнице), система подешавања, начина покретања (директно силом возача, вакумским појачивачем). Ове разлике у конструктивним решењима посебно су изражене код добош кочница где су кочиони цилиндри одвојени од добоша. Код диск кочница кочиони цилиндри део су извршног система и обично се налазе у кочионом механизму. Неколико карактеристичних конструкцијских решења кочионих цилиндара добош кочница приказано је на слици 2.10 [4].



Слика 2.10 Конструкцијска решења кочионих цилиндара добош кочница [4]

Слика 2.10 а) приказује кочиони цилиндар који се обично упарује са *simplex* добош кочицом. Довођењем притиска преко прикључка (1) потискују се клипови (2) и кочионе папуче се размичу преко осовиница (3). Заптиваче се остварује заптивцима (4) који су притиснуте опругом (5), док се заштита од прљавштине из околине осигурава манжетнама (6). Слично решење приказано је на слици 2.10 б), само што су овде заптивци клипа постављене у жлебове (7), док се код конструкције на слици 2.10 в) осим другачијег решења осовинице за покретање кочне папуче, притисак опруге преноси на клип преко еластичног заптивача (8). Заптивке у прстенастим жлебовима примењене су и код решења приказаног на слици 2.10 г). Ово је решење посебно и по начину спајања клипа и осовинице за покретање кочионих папуча које је изведено навојем који омогућава подешавање зазора између кочионих папуча и добоша.

Слика 2.10 д) приказује конструкционо решење код којег је осовиница навојем спојена са посебно обликованим поклопцем који уједно има и функцију манжетне. За *duplex* добош кочице примењују се конструкциона решења кочионих цилиндара приказана на слици 2.10 ђ). Кочиони цилиндар на слици 2.10 ђ) има на вези са носачем папуче уграђен механизам за подешавање зазора. Конструкција на слици 2.10 е) је једноставнија и слична конструкцији кочионог цилиндра на слици 2.10 б), само што има један клип и цилиндар који је са једне стране затворен [4].

Слика 2.10 ж) представља нешто другачије конструкционо решење од осталих. Овај кочиони цилиндар има два клипа различитих пречника, што значи да различитим силама покреће кочне папуче. Код *simplex* кочица клип мањег пречника покреће примарну (потискивану) кочиону папучу, док клип већег пречника покреће секундарну (задњу) папучу. На тај начин се ублажава неравномерно оптерећење кочице због различитих износа сила трења између кочионих папуча и добоша.

Основне предности хидрауличног система за активирање кочионог механизма су [3]:

- 1) истовремено кочење свих точкова уз жељену расподелу кочионих сила како међу мостовима тако и међу папучама,
- 2) могућност типизације кочионих механизма за возила са различитим параметрима,
- 3) висок коефицијент корисног дејства и
- 4) једноставна конструкција система за активирање и мало време одзива система.

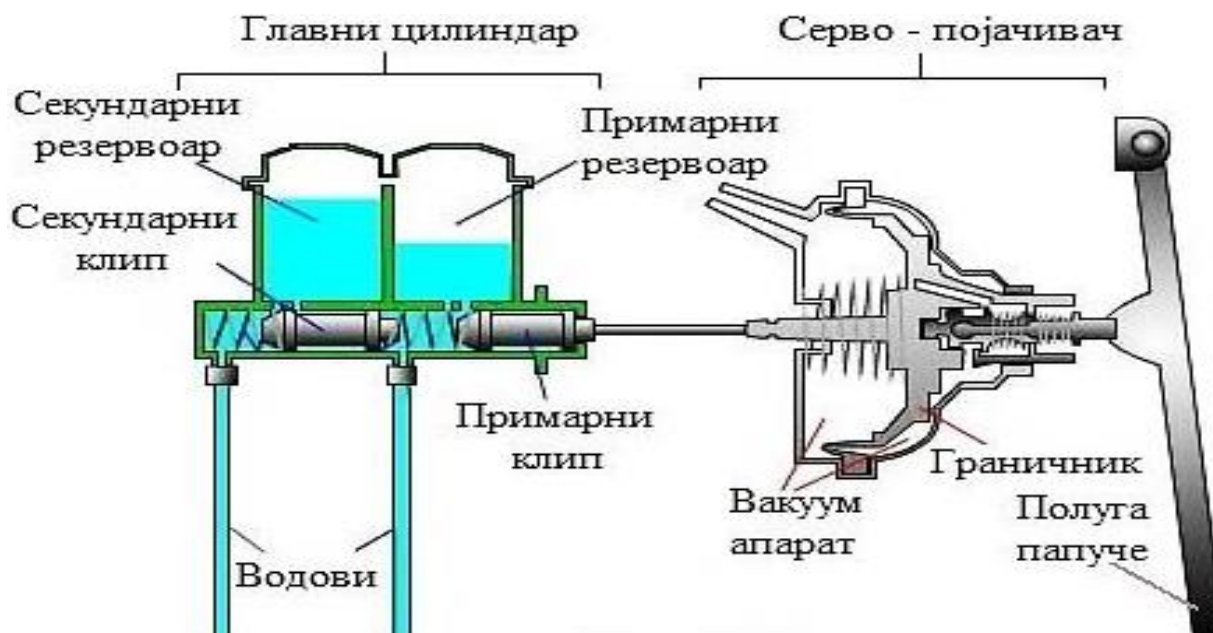
Основни недостаци хидрауличног система за активирање кочионог механизма су [3]:

- 1) немогућност остварења већег преносног односа, па се због тога хидраулични систем активирања без серво - уређаја користи само код возила са релативно малом укупном тежином,
- 2) немогућност функционисања уколико дође до оштећења цевовода. У задње време овај недостатак је ублажен код система који имају посебан довод за предњи и задњи кочиони (двокружни систем) и
- 3) снижење коефицијента корисног дејства при ниским температурама (-30 °C и ниже).

2.2.1 Хидраулични системи са серво појачивачем

Ако се само силом возача не може остварити довољна сила кочења у хидраулични преносни механизам уграђују се серво појачивачи, односно неко појачање силе кочења са спољним извором енергије. Основни делови хидрауличног система попут главног и кочионог цилиндра користе се и код система са серво појачивачем, за повећање силе кочења. Код путничких возила се најчешће користе вакуумски појачивачи силе кочења са доводом вакуума из усисне гране мотора.

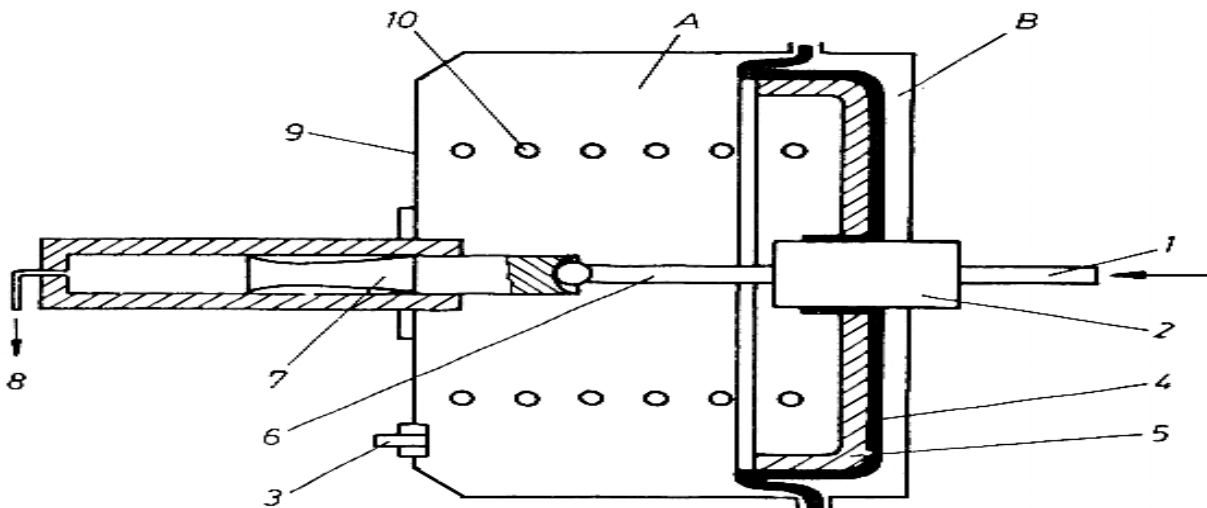
Такав случај је приказан на слици 2.11. Ова шема приказује две различите варијанте зависно о извршним деловима кочионог система: диск кочнице на предњој осовини, а на задњој добош кочнице и диск кочнице на свим осовинама. У првом случају долази до појачања силе кочења само на првој осовини, док се на задњој осовини сила кочења остварује искључиво енергијом возача. Код диск кочница на свим точковима сила кочења се појачава у кочницама обе осовине. Ова шема приказује само нека решења кочионих система, док се у пракси могу појавити и друге комбинације. Серво појачивач силе кочења може бити активиран притиском кочионе течности у цевоводу или непосредно притиском на папучицу кочнице (слика 2.11).



Слика 2.11 Шематски приказ хидрауличног система са серво појачивачем [5]

Слика 2.12 приказује вакуумски серво појачивач силе кочења који се покреће непосредно притиском на папучицу кочнице. Притиском папучице кочнице, преко механичког механизма делује се на ручицу (1) која преко полуге (6) активира клип главног кочионог цилиндра (7). Истовремено се померањем ручице (1) делује на вентил (2), тако да се прекида веза између комора (А) и (Б) у којима се за време рада мотора преко прикључка (3) остварује одређени вакуум.

Прекидајући везу између комора (А) и (Б), вентил (2) истовремено постепено пушта у комору (Б) атмосферски притисак, чиме се клипу (5) који је у односу на кућиште цилиндра (9) заптивен мембранском заптивком (4) преноси сила сразмерна разлици притиска у коморама (А) и (Б). Ова сила преко кућишта вентила (2) делује на полу (6) и на клип главног кочионог цилиндра (7) потискујући кочиону течност кроз отвор (8) према кочионим цилиндима. Када процес кочења заврши клип (5) се враћа у почетни положај деловањем клипа (7), односно повратних опруга у главном кочионом цилиндру, док се додатни отпори савладавају опругом (10). Слична су конструкциона решења вакуумских појачивача силе кочења користе и код двокружних кочионих система [6].



Слика 2.12 Вакуумски серво појачивач [6]

Серво појачивачи могу бити напајани и компримованим ваздухом. У том случају је појачање силе кочења знатно веће него код вакуумских појачивача покретаних вакуумом из усисне гране погонског мотора. Велика појачања могу се остварити и вакуумским појачивачима напајаним вакуум пумпом, али такво се решење ретко примењује.

2.2.2 Кочиона течност

Квар на кочионом систему возила сматра се најгорим кваром по питању безбедности возила и возача. Зато је нужно редовно одржавање кочионог система, што код хидрауличких кочионих система значи редовна провера и замена кочионе течности. Код хидрауличног кочионог система кочиона течност преноси силу кочења од главног кочионог цилиндра повезаног на педалу кочнице до кочионих цилиндара на појединим точковима, под високим топлотним оптерећењима. Због тога повећање тачке кључања је један од главних циљева код производње кочионе течности. Осим тога, кочиона течност мора штитити делове кочионог система и не сме агресивно реаговати са материјалима од којих је кочиони систем направљен, попут разних металних легура и гумених заптивки. Те карактеристике кочионе течности дефинисане су разним државним и међународним стандардима.

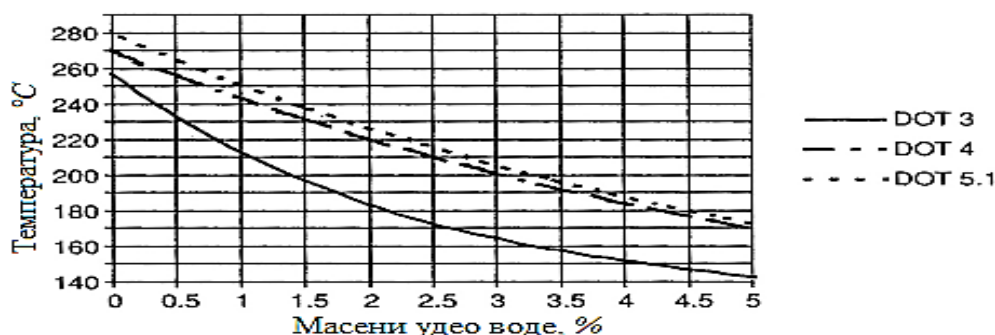
Кочионе течности обично су емулзије мазива, инхибитора и антиоксиданта. На тржишту се могу пронаћи три основне врсте кочионих течности [6]:

- 1) гликоли и њихови естри (SAE J1703), те гликол - бор естри (SAE J1704),
- 2) силиконски естри (SAE J1705) и
- 3) минерална уља (ISO 7309).

Кочионе течности базиране на гликолу, гликол естру и боровом естру чине 95% врста кочионих течности. Производња ове врсте кочионе течности креће од етилен оксида. У присуство алкохола, попут метанола, етанола или бутанола и прикладних катализатора у прецизно контролисаним условима притиска и температуре претварају се у етилен гликол. Кочионе течности садрже и спојеве који спречавају појаву корозије као што су инхибитори корозије и антиоксиданти. Инхибитори корозије служе за спречавање појаве корозије на металним деловима. Обично чине око 5% по маси у кочионој течности.

Ти инхибитори корозије морају спречавати корозију у широком температурном опсегу. Деловање инхибитора корозије кроз њихову хемијску интеракцију са металним деловима кочионог система врло је сложено и резултат је дугог низа година развоја и тестирања. Инхибитор неке кочионе течности мора бити у потпуности компатибилан са инхибитором неке друге кочионе течности, јер се током година експлоатације може очекивати да ће се у система кочионца користити кочионе течности разних произвођача. Кочионе течности морају бити отпорне и на оксидацију до које може доћи ако врућа кочиона течност дође у додир са ваздухом. Оксидација кочионе течности може се убрзати у присуству метала као катализатора. Антиоксиданти служе за спречавање пропадања компонената кочионе течности процесом оксидације. Оксидација кочионе течности је резултат стварањем смола које могу отежавати померање покретних делова кочионог система. Кочионе течности базиране на силиконским естрима показују изузетну стабилност вискозности при ниским температурама и имају високе тачке кључања. Без обзира на ове позитивне особине, кочионе течности базиране на силиконским естрима нису ушле у ширу примену и ограничене су на посебне примене, попут војних и спортских возила [6].

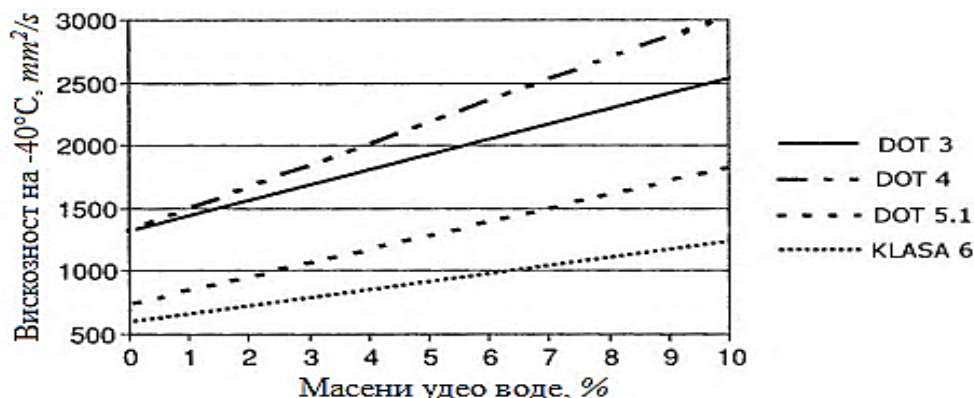
Кочионе течности базиране на минералним уљима имају врло ограничену примену код моторних возила. Кочионе течности морају задовољавати услове постављене државним и међународним стандардима: SAE J1703, SAE J1704 и ISO 4925. Стандард FMVSS 116 класификује својства кочионих течности у три разреда: DOT 3, DOT 4 и DOT 5.1 [6].



Слика 2.13 Зависност тачке кључања од садржаја воде [6]

Повећањем удела воде у кочној течности снижава се тачка кључања (слика 2.13) и повећава се опасност од појаве парних цепова. Код кочионих течности разреде DOT 3 вода се раствара у гликолу у гликол - естру, док се код DOT 4 и DOT 5.1 разреде вода отапа и у боровим естерима.

Вискозност кочионе течности такође зависи од садржаја воде, порастом садржаја воде расте и вискозност кочионе течности (слика 2.14).



Слика 2.14 Зависност вискозности кочионе течности од садржаја воде [6]

Спојеви од којих се састоје кочионе течности могу да упијају воду. Вода може ући у кочиони систем дифузијом кроз кочиона црева или кроз одушке на кочионом систему. Тачка кључања кочионе течности варира зависно од количине упијене воде, због чега су дефинисане мокре и суве тачке кључања. Сува тачка кључања дефинисана је као температура кључања кочионе течности без имало воде у свом саставу, док је мокра тачка кључања дефинисана као тачка кључања кочионе течности, по маси од 3,5% воде у свом саставу [6].

2.3 Примена материјала за израду елемената кочионог система

Фрикционе кочнице такође морају да апсорбују већи део енергије на путничким возилима, где динамичко кочење није могуће. Може се дакле, констатовати да су фрикционе облоге кочница елементи који имају велики значај за безбедност саобраћаја, те спадају у групу производа код којих се безусловно мора обезбедити високи квалитет. Захтеве високог квалитета утврђују национални и међународни прописи, уз систем провере који је у надлежности државе али уз високу одговорност произвођача. У том оквиру је неминовно да се у процесу производње на прави начин, на потребном и довољном нивоу спроведу и експерименталне провере остварених квалитета у појединим фазама производног процеса, почев од улазних сировина до излазних производа.

Улога кочионог диска је да у контакту са кочионим плочицама, путем трења претвори кинетичку енергију кретања у топлотну енергију.

Топлота која се произведе зависи од тежине и брзине возила у тренутку кочења. Возило тежине 1500 kg може претворити око 240 Nm кинетичке енергије у топлоту, при кочењу од 140 km за неколико [секунди]. Тако велике количине топлоте веома споро се ослобађају и диск може за веома кратке периоде да достигне температуре од 800°C, што може довести до наглог повећања температуре између површина трења и језгра диска, а најчешће температуре које се постижу током кочења су више од 500°C. Материјал диска мора бити у стању одупирања на висока термичка напрезања која проистичу из поновљеног циклуса загревања током употребе. Велике количине топлоте генеришу приликом кочења, где мора да се апсорбује и расипа што је брже могуће. Због оваквих карактеристика материјал, за израду диска мора бити веома жилав, лак, јефтин и једноставан [5].

2.3.1 Материјали за израду кочионих чељусти

Кућишта кочионих чељусти углавном су произведена технологијом ливења сивог лива (*engl. gray cast iron, GCI*) са кугластим графитом квалитета *GCI 50 - 60*. Ако је важна мала маса, тада се користе кућишта састављена завртањским спојем, где је цилиндар кочионих чељусти израђен од ливеног алуминијума повишене чврстоће, док је седло кочионе облоге израђено од сивог лива високог квалитета са кугластим графитом. Једноделно алуминијумско кућиште користи се ако маса није битан фактор код производње. Кочиони клипови израђују се од сивог лива, алуминијумских легура и полимерних материјала погодних за израду пресованог склопа. Челични кочиони клипови су обично дубоко вучени или екструдирани [7].

2.3.2 Материјали за израду кочионих дискова

Кочиони дискови теретних возила морају да издрже притиске кочења до 14 N/mm² односно 140 [бара]. Данашњи кочиони дискови израђују се примарно од перлитног сивог лива квалитета између *CGI 15* и *CGI 25*. Мале количине хрома и молибденом дају материјалу већу отпорност на хабање и смањују опасност од појаве пукотина узрокованих високом температуром. Високи садржај угљеника повећава брзину преноса топлоте. Теретна и тркачка возила постављају веће захтеве на издржљивост дискова због чега се јавила потреба за новим материјалима. Један пример је *C-SiC* кочиони диск (слика 2.15) који је израђен од композитног материјала који обједињује матрицу од керамичког материјала *SiC* појачаног угљеничним влакнима. Кочиони дискови *C-SiC* у поређењу са обичним дисковима од сивог лива пружају следеће погодности [7]:

- побољшана отпорност на хабање и животни циклус од 300 000 km,
- смањење сувишних маса као резултат масе мање за 2/3 у поређењу са класичним дисковима од сивог лива,
- отпорност на високе температуре,
- отпорност на корозију (потпуно уклоњени негативни ефекти повезани са дисковима од сивог лива попут контактне корозије) и
- подносе температуре изнад 1000°C.

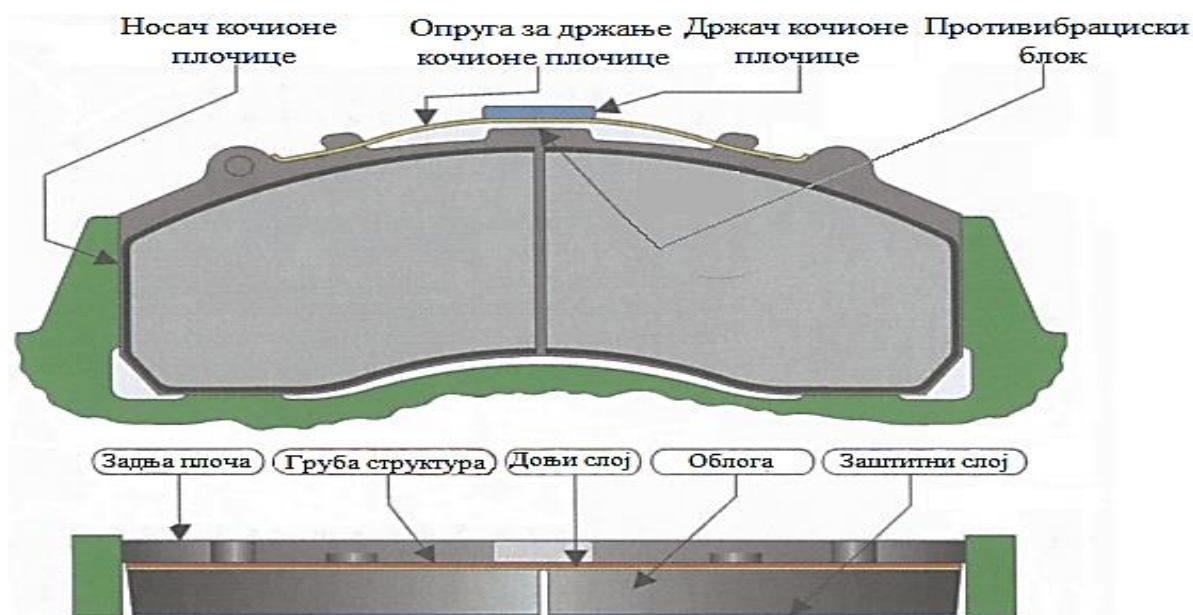
Високи трошкови због сложене израде оваквих дискова спречили су њихову ширу употребу у аутомобилској индустрији.



Слика 2.15 Приказ кочионог диска израђен од C-SiC [7]

2.3.3 Материјали за израду кочионих плочица

Кочиона облога и кочиони диск заједно чине фрикциони пар за претварање силе стезања у момент кочења. Физичка и хемијска обележја кочионих облога чине кључни допринос ефикасности кочница. Саставни елементи плочице приказани су на слици 2.16.



Слика 2.16 Приказ плочице за диск кочницу [5]

За израду кочионих облога најчешће се користе органски материјали, док се за теже оптерећене облоге користе синтерметални материјали. Органске облоге садрже:

- метале - челична вуна (20%), бакарни прах (16%),
- пунила - гвоздени оксид (10%), барити (9,5%), лискун (6,5%), алуминијум оксид (1, 2%),
- клизне материје - коксни прах (16%), антимонтрисулфид (6%), графит (4%) и
- органске материје - смоласти прах (4%), влакнасти (1,4%), везиво (5, 4%).

Плочице се најчешће израђују од гвожђа, бакра, челика и графита који су основна веза за формирање материјала облоге. Познато је да фриксиони материјал облога кочионих плочица и папуча може да садржи фенолне смоле, азбестна влакана, додатни материјал ($BaSO_4$ / $CaCO_3$) и малу количину металних честица гвожђа, за побољшање фриксионог модификатора чија је структура грађе приказана на слици 2.17 [6].



Слика 2.17 Структура облоге кочионих плочица [6]

Носач плочице обично се израђени од ниско-угљеничних челика, приказан на слици 2.18. Његова функција је да заштити слој облоге приликом кочење која пренеси силу из чељусту клипова. Да би се остварио што бољи контакт између носача плочице и кочионе облоге, на носачу се постављају рупе или назубљене ивице које обезбеђују боље трења материјала.



Слика 2.18 Изглед структуре носача плочице [6]

2.3.4 Савремени фрикциони материјали

Данас се као материјали за израду облога кочница користе композити. То су чврсти материјали који се добијају као комбинација два или више различитих материјала тако да настаје нови материјал чије су особине за дату намену боље од појединачних особина полазних материјала. У основи постоје две врсте композитних фрикционих материјала и то су синтеровани и материјали влакнасте структуре. Код синтерованих материјала везивање свих састојака постиже се топлотним стапањем у чврсту целину (синтеровање).

Синтеровање се остварује при релативно високим температурама и под високим притисцима, значајно изнад нивоа потребних за полимеризацију фенолних смола или других везива ове врсте. То тражи и посебну опрему за производњу, велике пресе, снажне пећи што значајно поскупљује производњу. Смеша за синтеровање је јефтинија и садржи искључиво метале састојке (као пуниоце, фрикционе модификаторе) и минералне или механичке додатке (фрикционе модификаторе). Облоге произведене од синтерованих материјала су још увек више пута скупље од других, па је самим тим и њихово коришћење ограничено (нпр. код савремених електромоторних возова - ТСУ, формула, у авио саобраћају) [3].

Композитни материјали влакнасте структуре присутни су на тржишту више од тридесет година. У почетку је као влакно коришћен азбест, међутим после забране његовог коришћења прешло се на развој фрикционих материјала базираних на коктељу влакана. То је комбинација минералног, челичног, стакленог и полиарамидног влакна. Производи на бази коктеља влакана познати су у свету као материјали треће генерације. Велики значај имају композити са полимерном основом унутар које су распоређени влакнасти материјали. Начелно се употребљавају смоле. Смола се топи и тече под утицајем температуре прераде и притиска врши повезивање других састојака. Неки од разлога широке примене ових композита јесу велико смањење тежине, високе механичке карактеристике и ниска цена. За њихово добијање користе се влакна различитог порекла, затим пуниоци, везива и фрикциони модификатори. То су најважније компоненте које чине матрицу фрикционог материјала влакнасте структуре и свака од њих има одређену улогу при изради и у експлоатацији фрикционих облога [8].

2.3.5 Фрикциони модификатори

Фрикциони модификатори су састојци који имају функцију да обезбеде потребне односе између битних радних карактеристика фрикционих материјала, посебно у односу на трење и хабање. То могу бити материјали веома различитог порекла: минерали (алуминати, сулфати сулфиди), метали и њихови оксиди (гвожђе, месинг, цинк), органске смоле, мазива (графит, молибден-дисулфид), кокс у разним облицима и са различитим учешћем у смеси. Њихово дејство се огледа у целом домену промене радних услова у смислу обезбеђивања високог и стабилног трења и што мањег хабања [9].

Значајну улогу при производњи фрикционог материјала има графит као модификатор. Удео графита у композиту креће се унутар подручја од 2-10% тежинских процената и одређен је на основу искуствених података и резултата испитивања произвођача. Графит поседује следеће карактеристике [10]:

- при средњим температурама (од 200/250°C) понаша се као мазиво,
- графит поседује већи коефицијент трења када је влажан или се користи у влажним условима,
- гарантује константан коефицијент трења. Резултат тога јесте на пример изостанак шкрипе кочница,
- смањује хабање јер стабилизује површински филм при трењу, тако што ослобођене абразивне честице из облога неутрализује и
- побољшава одвођење топлоте јер је добар проводник топлоте.

Кокс се додаје у концентрацији од 5-10% тежинских процената у прашкастом облику због регулације коефицијента фрикције. Уколико се повећава концентрација кокса у рецептури коефицијент фрикције се смањује. Абразија облоге се смањује када се он користи у комбинацији са прашкастим графитом. Кокс се користи за облоге кочница и спојница. Он поседује високу отпорност на хабање, веома је стабилан у механичком и термичком погледу.

2.3.6 Израда фрикционог материјала

Употреба фрикционог материјала углавном се везује за кочнице и спојнице. Кочнице и спојнице су сличне са становишта фрикционог материјала, а примарна им је разлика у начину употребе. Кочнице се користе за контролу кретања са обзиром на утврђени референтни ниво, док се спојнице користе за пренос кретања између ротирајућих елемената. И кочнице и спојнице се могу пројектовати за рад у сувом или влажном окружењу. Универзални фрикциони материјал за све намене не постоји. У зависности од примене и услова рада, заједно са типом кочне облоге, варира и основни састав композита.

Са друге стране фрикциони материјал може се дефинисати као резултат рецептуре и производног процеса и у том погледу постоје одређене интеракције између производа, рецептуре и процеса производње, како је приказано блок шемом на слици 2.19 [10].



Слика 2.19 Шема узајамних зависности при изради фрикционог материјала [10]

3. ТРИБОЛОШКИ ПРОЦЕСИ КОД КОЧИОНИХ СИСТЕМА

3.1 Остваривање притиска помоћу трења

Притисак има двојак утицај на параметре трења и хабања. Најпре у почетном периоду трења, притисак највише утиче на пораст реалне површине додира, а иза тога он делује на промене својстава материјала. Међутим, на фрикционе карактеристике материјала уопште, притисак показује највећи утицај у комбинацији са брзином. Притисак и брзина су енергетски параметри од којих зависи генерисање топлоте и температура на контакту, а тиме и све карактеристике материјала, укључујући и фрикционе. Притисак и брзина су у ствари међусобно повезани фактори и заједно са температуром, њихово појединачно деловање на трење и хабање практично веома тешко може да се анализира.

На момент кочења највећи утицај има коефицијент трења, параметар који нема константну вредност. Коефицијент трења, како је познато, зависи од многих чинилаца, као што су конструкција и димензије кочнице, њен облик, врста и састав фрикционог материјала, врста и састав материјала металног елемента фрикционог пара, итд. Али, ако се сви остали параметри сматрају константним, онда својства материјала елемената фрикционог пара имају одлучујући утицај на квалитет кочнице, односно на коефицијент трења, а тиме и на извршавање задатака целог кочионог система. Ова констатација се посебно односи на фрикционе материјале од којих се израђују извршни елементи кочница. У вези са тим, стандардима је прописано колика мора бити максимална, минимална и средња (оптимална) вредност коефицијента трења код фрикционих материјала који се користе за кочнице путничких возила [12].

Трење је сложен механички појам који се сусреће сваког тренутка при сваком мировању и кретању. У природи је редован случај да везе два тела нису идеалне, површине нису потпуно глатке већ су храпаве. Услед неравних површина додира при кретању тела јављају се додири који ометају кретање.

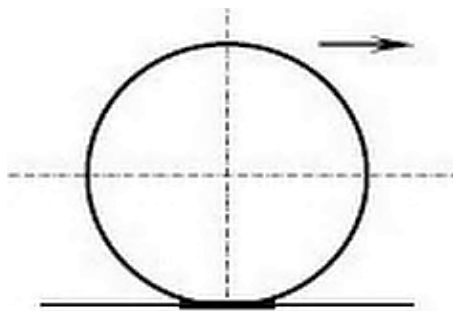
Ови отпори представљају силе трења или отпоре трење и не могу се математички одредити, већ огледима. Постоје три врсте трења:

1) трење при мировању – На подлози под нагибом трење се појављује као препрека кретања тела, отпор кретања је трење мировања,

2) трење при клизању – На пример: уколико нагиб подлоге пређе извесну границу долази до клизања тела по подлози, ово клизање није слободно већ га омета отпор – трење клизања и

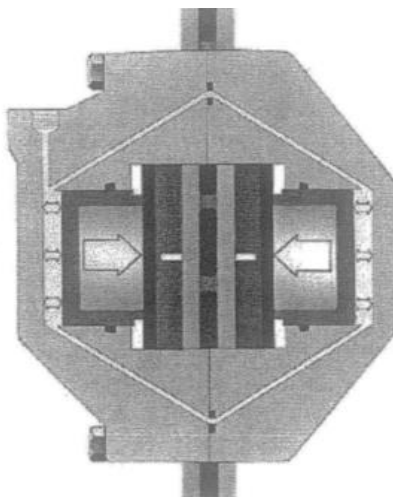
3) трење при котрљању – Приликом котрљања точка по шини, точак гњечи и деформише шину на месту додира али како се точак откотрља даље та деформација се враћа у првобитно стање.

Ова деформација шине па и точка ствара отпор кретању тј. отпор котрљању, приказана је на слици 3.1.



Слика 3.1 Трење при котрљању

Кочионе чељусти омогућавају да кочионе плочице буду конструисане на начин где могу да се обликом делимично супротстављају тангенцијалном повлачењу узрокованом силом кочења, тзв. систем потискивање и повлачења (*engl. push - pull system*), слика 3.2.



Слика 3.2 Остваривање притиска на кочионе плочице [12]

Вредност сила притиска зависи од врсте материјала који се примењује као елемент (диск и плочица), приказан на слици 3.3.



Слика 3.3 Деловање тангенцијалне силе код кочионих плочица [12]

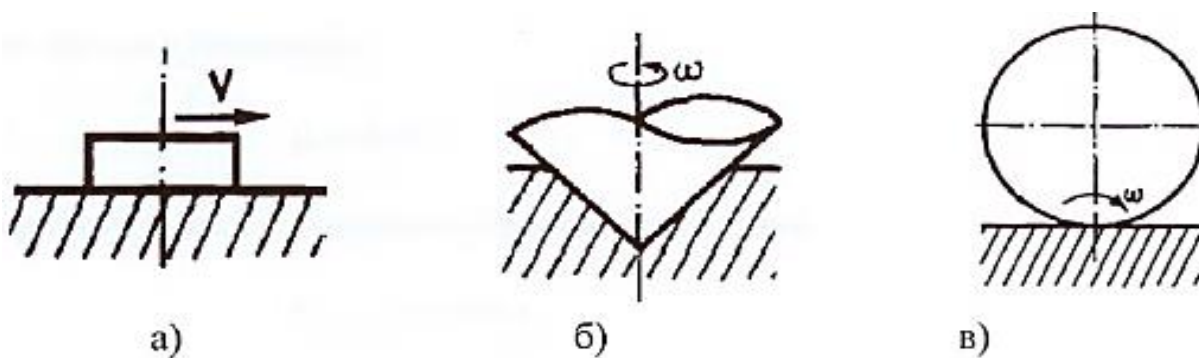
Силе трења у носачу делују на хабану површину диска што доноси две кључне предности:

- хабање плочица уједначено јер облоге додирују диск једнако по целој својој површини и
- бука, у првом реду "цвиљење" кочница, је знатно смањена.

Трење при мировању, (статичко трење) подразумева отпор који тело при стању мировања пружа за прелазак у стање кретања. Свака равна подлога неког тела, ако се увећа, (до мере да се виде атоми на микроскопу), уочи ће се површина која се састоји од: неравнина, врхова и зубаца. Управо те неправилности код међусобних контакта тела и подлоге, ометају гибање и пружају велики отпор. Дакле, опирају се гибању и манифестују се као сила трења. Међусобни ударци тих неравнина имају за последицу стварање топлоте, где се тело и подлога загревају.

При том и даље вреди закон очувања енергије: смањивање кинетичке енергије тела прелази у топлотну енергију тела или подлоге. Статичко трење се одликује микроскопски малим померањима додирних површина, док кинетичко трење постоји када су померања велика и видљива голим оком.

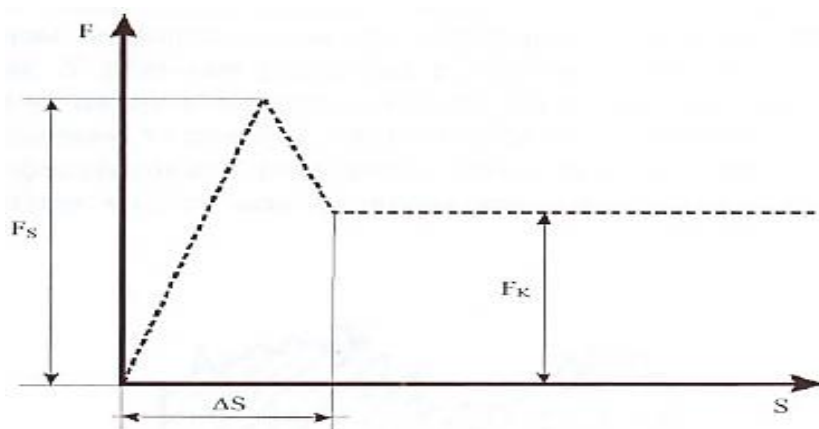
Трење клизања се јавља када се тела крећу под дејством силе, слика 3.4а, док трење котрљања настаје у случају када се једно тело премешта по другом под дејством момента силе, слика 3.4б. У даљем раду биће речи искључиво о трењу клизања. Често се као посебан вид трења клизања наводи тзв. трење обртања, слика 3.4в, које се дешава када тачке у равни додира тела описују концентричне кругове око заједничке осе ротације под дејством момента, за разлику од трења при транслацији.



Слика 3.4 Приказ трења: а) клизања, б) обртања, в) котрљања [10]

Параметри који карактеришу спољашње трење јесу одговарајућа сила трења и коефицијент трења. Статичка сила трења F_{TS} представља максималну тангенцијалну силу отпора која се јавља при граничном померању. После достизања граничног померања, вредност реактивне силе нагло пада и настаје стабилан режим трења са константном брзином клизања.

Ако нема промена других параметара процеса овај период се карактерише силом трења клизања F_T која има приближно константну вредност, како је шематски приказано на слици 3.4 [13].



Слика 3.4 Промена силе трења у зависности од померања; F_s - статичка сила трења, F_k - кинетичка сила трења, Δs – предпомерање

Коефицијент трења μ је величина која се добија као количник силе трења и оптерећења N нормалног на заједничку тангентну раван биће, дакле коефицијент статичког трења (μ_s),

$$\mu_s = F_s / N \quad (3.1)$$

и коефицијент трења клизања (μ),

$$\mu = F_T / N \quad (3.2)$$

Сила трења при котрљању је одређена једначином Кулона,

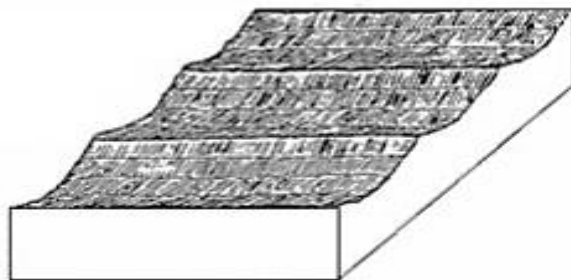
$$F_{TKO} = k(N/R) \quad (3.3)$$

у којој је k - коефицијент трења котрљања и R - полупречник кривине на месту контакта. За разлику од клизања, коефицијент трења котрљања има димензију дужине и он је по величини далеко најмањи док је статички већи од коефицијента трења при клизању.

Трење се може поделити и према стању у коме се налазе контактне површине, у смислу егзистенције различитих мазива. Са тог аспекта најчешће се користи једноставна подела на суво, гранично и течно трење. Под сувим трењем подразумева се случај када се контакт фрикционих површина остварује без присуства било каквог посредног елемента, као што је мазиво. Гранично трење, међутим, обухвата случајеве када између контактних површина постоји извесан слој мазива али када је његова дебљина мања од максималне висине неравнина, за разлику од течног трења које се јавља када је тај слој већи од свих неравнина [13].

3.2 Остваривање контакта чврстих тела при трењу

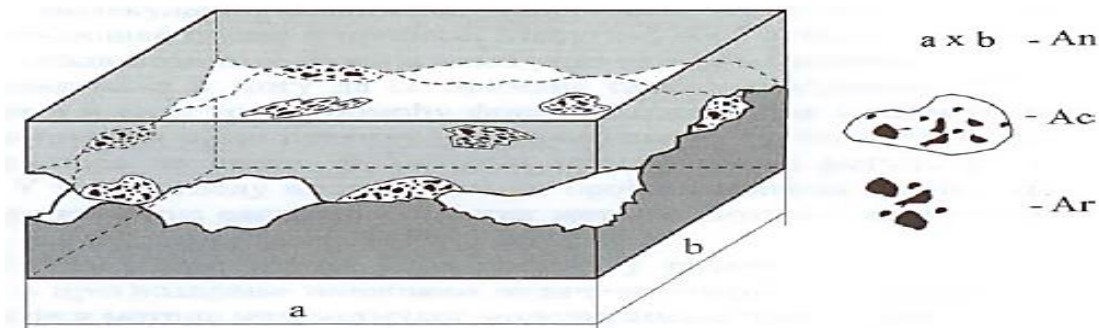
Чврста тела међусобни контакт при трењу остварују својом слободном површином под којом се подразумева део материјала окружен спољашњом средином, на пример ваздухом. У реалним условима слободне површине су далеко од идеално глатких, без обзира на начин и квалитет обраде. На њима увек постоје набори у облику неправилно распоређених таласа (валова) на којима се налазе узвишења и удубљења веома сложене конфигурације и распореда. Површине чврстих тела, у ствари, имају сложен, рељефан, облик чије су основне карактеристике валовитост и храпавост, како се види на слици 3.5.



Слика 3.5 Шема валовитости и храпавости [14]

Валовитост представља скуп мање или више регуларно распоређених брегова и удолина код којих је корак таласа много већи од њихових висина. Под храпавошћу се подразумевају узвишења и удубљења релативно малих димензија и малог корака која се налазе на површинама брегова и удолина. Врхови ових узвишења, како је утврђено, углавном су заобљени, тј. они имају сферичан облик. Услед валовитости и храпавости међусобни контакт чврстих тела остварује се само на појединим местима, дискретно распоређеним по врховима таласа и узвишењима која постоје на њима. Када се говори о контактним површинама користе се и у литератури и у пракси три термина, приказаних на слици 3.7:

- 1) номинална површина контакта A_n ,
- 2) контурна површина контакта A_c и
- 3) реална (стварна) површина контакта A_r .



Слика 3.6 Шема површина у међусобном контакту: A_n - номинална површина, A_c - контурна површина, A_r - реална површина [14]

Номинална површина контакта A_n или геометријска површина контакта, како се често назива, одређена је геометријом тела у додиру. На пример, ако се остварује контакт између два цилиндра по њиховим чеоним површинама полупречника R , номинална површина контакта биће $R^2\pi$. Номинална површина контакта је независна од оптерећења под којим се контакт остварује.

Контурна површина контакта A_c јавља се при остваривању контакта између два тела чије су контактне површине валовите. Величина контурне површине контакта зависи од корака и висине валова на обе контактне површине, али и од спољашњег оптерећења и особина материјала контактних слојева оба тела у додиру. Величина контурне површине контакта креће се, најчешће, између 0.01 и 0.15 од номиналне површине контакта, али може да буде и једнака номиналној површини ако на њој нема валовитости. Контурна површина је много већа од реалне (однос је преко 1:100) али је истовремено и много мања од номиналне површине додира (однос је такође преко 1:100). У складу са овако дефинисаним врстама контакта, разликују се реални – p_r , контурни – p_c и номинални – p_n притисак као количници нормалног оптерећења и одговарајуће површине:

$$p_r = N/A_r \quad p_c = N/A_c \quad p_n = N/A_n \quad (3.4)$$

Стварна (реална) површина контакта A_r је збир елементарних површина по којима се остварује додир између два тела. Величина елементарних површина додира је врло мала, њихов пречник се креће између 3 и 50 μm и зависи како од микрогеометрије контактних површина оба тела у додиру (облика и висине неравнина) тако и од спољашњег оптерећења F_N .

3.3 Хабање кочионог система

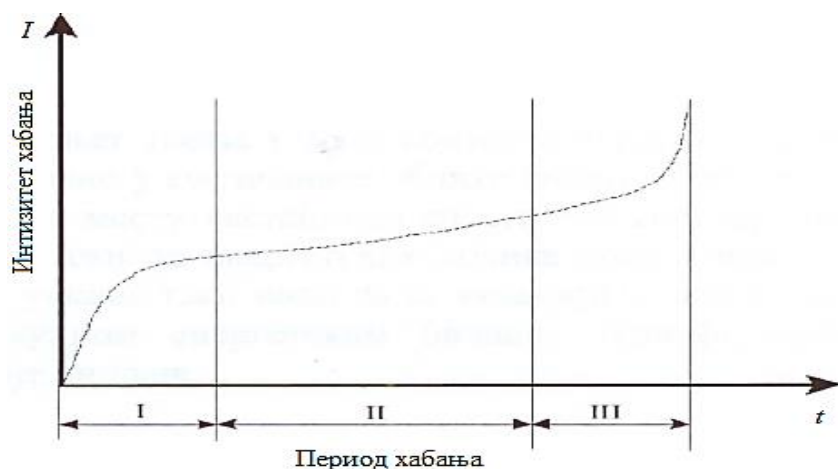
Хабање је нераздвојни пратилац трења и исто као трење, представља веома сложен процес. Под појмом хабање подразумева се скуп појава изазваних трењем која се могу описати као разарање, у смислу одвајања појединих честица, које се дешава у контактним слојевима материјала фрикционог пара. Разарање је ограничено на малу запремину материјала али је при томе важно да оно у току фрикције бива физички одстрањено из зоне трења. Тако настаје постепено смањење димензија једног или оба елемента фрикционог пара у правцу нормалном на површину трења и долази до њиховог хабања.

Дискретан додир и динамички карактер трења доводе до различитих начина разарања материјала и његовог удаљавања из зоне контакта. Могуће је, на пример, чисто механичко разарање ломљењем појединих елемената храпавости, или браздање мекших микро елемената тврђим, затим разарање услед атхезије, услед абразивног деловања већ похабаних или у мазиву постојећих чврстих честица, затим услед ерозије, оксидације, итд. Који ће облик стварања продуката хабања у конкретном случају егзистирати зависи од многих чинилаца [14].

Гледишта на физичку суштину хабања нису јединствена и до сада је постављен велики број хипотеза али исто као и код трења, ни једна од њих није универзална. У првој фази, у тзв. периоду прилагођавања или уходавања фрикционог пара, хабање по правилу тече веома бурно јер је, због дискретног контакта, реална површина додира мала а притисци веома високи па настаје интензивно пластично деформисање неравнина и разарање материјала. По завршетку ове фазе процес се стабилише па се интензитет хабања смањује. Тада настаје друга фаза и она одговара експлоатационом периоду рада трибомеханичких парова. У пракси се увек тежи да ова фаза траје што је могуће дуже.

Трећа фаза се карактерише такође повећаним разарањем материјала, слично првој, али процес овде тежи тзв. катастрофалном или разорном хабању. Уласком у ову фазу практично престаје функционалност трибомеханичког пара, долази до заривавања, настаје хаварија па је разумљива тежња да се она избегне.

Међутим, без обзира на сва неслагања, постоји потпуна сагласност да се при хабању чврстих тела увек јављају три карактеристичне фазе, које су шематски приказане на слици 3.7.



Слика 3.7 Фазе хабања кочионог система [14]

За процену хабања најчешће се користе четири основна показатеља, у чему такође постоји сагласност свих истраживача. То су линеарно хабање - I_{hl} , затим запреминско хабање - I_{hv} , масено или гравиметријско - I_{hg} и енергетско - I_{he} хабање која се дефинишу следећим изразима:

$$I_{hl} = h/L \quad (3.5)$$

$$I_{hv} = V/L \quad (3.6)$$

$$I_{hg} = M/L \quad (3.7)$$

$$I_{he} = V/F_T \cdot s \quad (3.8)$$

где су: h - висина слоја материјала одстрањеног хабањем, L - пут трења, V - запремина хабаног материјала, M - маса хабаног материјала, F_T - сила трења и s - пређени пут. Линеарно, запреминско и масено хабање често се називају линераним, запреминским, односно, масеним интензитетом хабања.

3.4 Идентификација трибомеханичких система

Елементи трибомеханичког пара као што су фрикциони уметци и диск представљају веома оптерећене делове кочнице. У општем случају они су изложени дејству и термичких и механичких оптерећења која зависе од многих параметара. Трансформацијом кинетичке енергије у кочницама се развија топлота која повећава температуру фрикционих елемената кочнице што доводи до појаве термичких напрезања. Величина ових напона у највећој мери зависи од температурног поља елемената, затим од карактеристика материјала, геометрије контакта, као и од других параметара а њихове последице су различите и врло сложене [15].

Термичка напрезања фрикционих елемената кочнице (уметака и диска) настају услед деловања топлоте генерисане трењем на њиховим контактним површинама. Као и код свих случајева генерисања топлоте трењем, и код фрикционих елемената кочница коефицијент расподеле топлотног флукса зависи од термофизичких карактеристика материјала који се користе. Највећи део топлоте одлази у метални део чак и до 99%, мада резултати неких експеримената показују да се на кочионе уметке преноси 4 до 5% од укупно ослобођене топлоте. Мањи део топлоте се одаје конвекцијом и зрачењем али однос појединих видова одавања (провођење, прелаз, зрачење) зависи од читавог низа фактора, он се мења у току самог кочења као и по завршетку кочења.

На одвођење топлоте конвекцијом највећи утицај има конструкција кочнице док одавање топлоте зрачењем долази до изражаја када су температуре при трењу високе. При кочењу се дешава и провођење топлоте од фрикционих елемената кочнице у друге делове возила, на пример од диска и главчине на лежајеве. Такво провођење је неповољно за рад тих делова и оно се на различите начине успешно минимизира.

Код диск кочница, које се највише користе у пракси, топлотни капацитет диска има велики значај, јер он мора да буде довољан да може да преузме одговарајућу количину топлоте уз истовремено постизање прихватљивих температура на фрикционој површини. Са тог аспекта, топлотна проводљивост материјала диска има пресудну улогу. Материјал диска мора да поседује високу топлотну проводљивост јер само на тај начин може да се обезбеди нижи температурни градијент на фрикционој површини диска. То је и разлог што се савремени кочиони дискови за високо енергетске примене склапају од челичних главчина монтираних на осовину и фрикционих прстенова везаних за главчину тако да могу да се шире када дође до загревања током кочења. При томе се фрикциони прстенови праве углавном од ливеног гвожђа или од челика [15].

Уобичајени кочни уметци се сада израђују од органски везаних композитних материјала. Они омогућавају да у току кочења притисак на диск буде приближно равномеран, да коефицијент трења има стабилну вредност, имају добру структуру контактних површина, док њихова тврдоћа и модул еластичности остају непромењени у одређеним границама.

При кочењу је веома важно да се структура контактних слојева уметака у границама толеранције одржава константном. На тај начин се постиже да кочиони диск увек буде равномерно механички и термички оптерећен и омогућује се да он равномерно апсорбује топлотну енергију. У супротном случају, фрикциона површина диска ће постати преоптерећена на појединим местима и уколико се пређе граница истезања материјала од кога је направљен, после хлађења у диску се развија резидуално напонско стање које доводи до стварања такозваних топлотних пукотина. Ове пукотине могу да изазову пуцање диска и излетање његових комадића у свим правцима. Управо због тога енергија која се трансформише у топлоту мора бити равномерно распоређена у материјалу диска и он мора да буде ослобођен термичких напрезања [15].

Између контактних површина уметака и диска увек се налазе и продукти хабања, а услед храпавости површина њихов контакт се остварује само по једном делу номиналне површине. Празнине између два суседна физичка контакта испуњене су ваздухом и гасовима који се ослобађају при трењу. Приликом кочења долази до контакта две површине, након чега се остварују различита стања трибомеханичког система, приказана у табели 3.1.

Табела 3.1 Идентификација трибомеханичких система

Трибомеханички пар	Котрљање	Клизање	Удар
Диск – плочица	+	+	+
Добош – папуча	+	+	+
Носач плочице – облога плочице			+
Носач папуче – облога папуче			+

На основу идентификације различитих стања кочионог система приказани у табели 3.1, на основу које је извршена подела кочионих елемената, који се налазе у међусобном контакту.

На слици 3.8 приказан је трибомеханички система диск - плочица и добош – папуча у трибомеханичком контакту.



Слика 3.8 Трибомеханички систем кочионих елемената [15]

Следећи контакт трибомеханичког система се остварује између кочионих елемената облога плочице – носач плочице и облога папуче - носача папуче, приказан на слици 3.9.



Слика 3.9 Трибомеханички систем кочионих елемената [15]

4. ЕКСПЕРИМЕНТ МЕРЕЊА

4.1 План експеримента

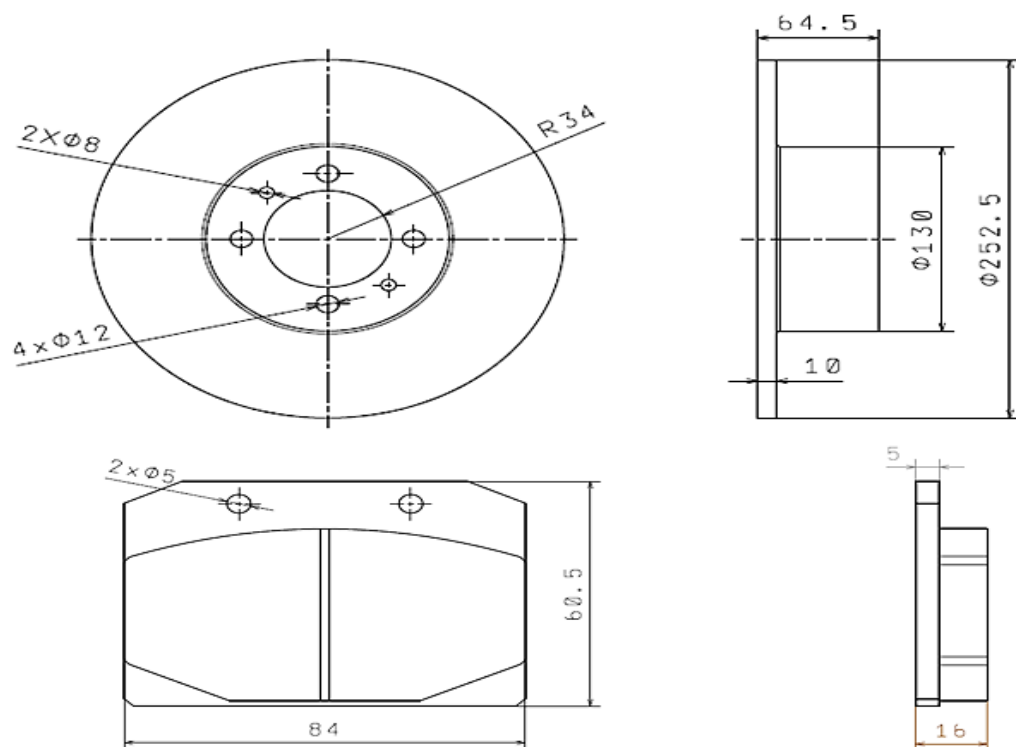
Експеримент је спровођен на возилу *Лада Рива*, које се користило у овом експерименту као путничко возило. Возило поседује комбиновани кочиони систем, где се на предњој осовини налазе диск кочице, а на задњој добош кочице. Основни параметри возила су:

- запремина мотора 1294 cm^3 и
- укупна маса возила 1050 kg .

Стандардне димензије кочионих елемената пре експлоатације:

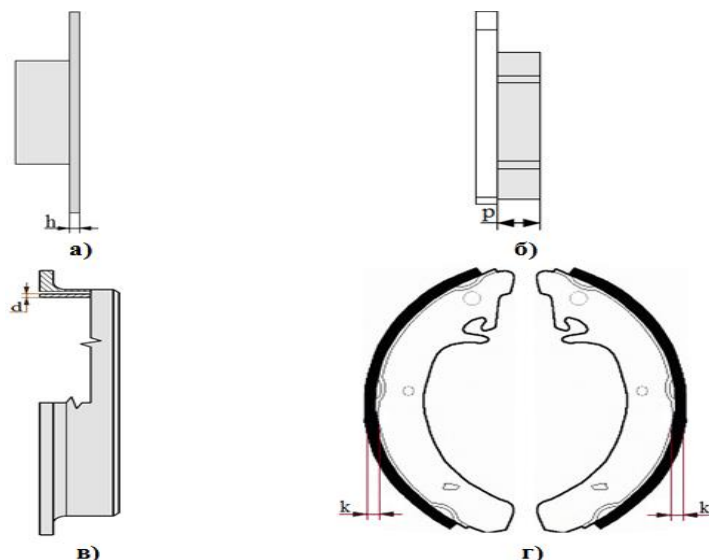
- дебљина кочионог диска је 10 mm ,
- дебљина кочионе облоге плочице је 11 mm ,
- дебљина кочионе облоге папуче је 7 mm и
- дебљина кочионог добоша је 10 mm .

Изглед кочионог диска и плочице наведеног возила са основним димензијама, пре уградње приказан је на слици 4.1 [16].



Слика 4.1 Приказ основних димензија и изглед кочионог диска са плочицом [16]

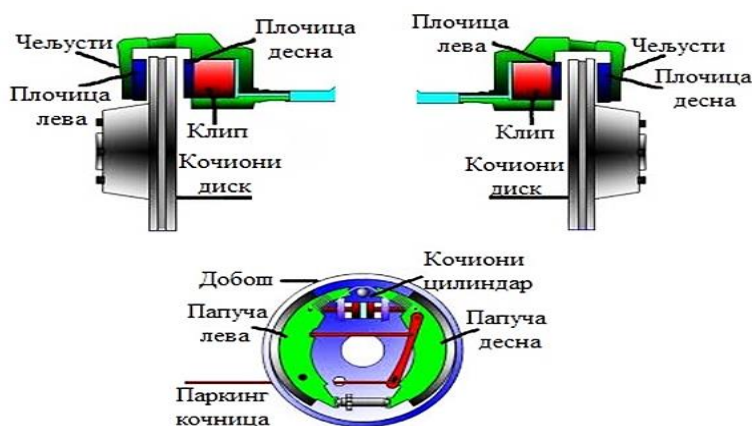
Спровођење експеримента је започето при километражи од 143050 *km* и трајало до 153960 *km*. У току овог времена, извршено је четири мерења на сваком фрикционом пару кочионог система. У оквиру експеримента вршено је мерење геометриских величина: дискова а), плочица б), добоша в) и папуча г), као што је приказано на слици 4.2.



Слика 4.2 Приказ елемената кочионог система

4.2 Резултати путних испитивања

У реализованом испитивању вршено је мерење дебљине кочионих облога плочица, папуча, кочионих дискова и добоша. Током испитивања извршена су четири мерења након одређеног пређеног пута. Резултати испитивања су приказани у наредним табелама. На слици 4.3 приказани су анализирани елементи кочионог система путничког возила Лада Рива [16].



Слика 4.3 Приказ предњег и задњег кочионог система са праћеним елементима [16]

У табели 4.1 приказане су измерене вредности геометриских величина елемената кочионог система после пређених 143050 *km*.

Табела 4.1 Прво мерење вредности геометриских величина елемената кочионог система

Број мерења		Прво мерење					
Мерно место		I мерење	II мерење	III мерење	IV мерење	V мерење	Средња вредност мерење
Лева предња група	Диск [mm]	9,10	9,20	9,15	9,05	9,00	9,10
	Плочица лева [mm]	9,50	9,40	9,30	9,35	9,25	9,36
	Плочица десна [mm]	8,50	8,40	8,45	8,30	8,35	8,40
Десна предња група	Диск [mm]	8,85	8,65	8,75	8,70	8,80	8,75
	Плочица лева [mm]	8,45	8,40	8,30	8,25	8,20	8,32
	Плочица десна [mm]	9,05	8,95	8,90	8,85	8,80	8,91
Лева задња група	Добош [mm]	7,45	7,40	7,30	7,25	7,20	7,32
	Папуча лева [mm]	6,30	6,25	6,00	6,10	5,90	6,11
	Папуча десна [mm]	6,45	6,40	6,30	6,20	6,15	6,30
Десна задња група	Добош [mm]	7,00	6,90	6,80	6,95	6,85	6,90
	Папуча лева [mm]	6,10	5,90	5,85	5,80	6,00	5,93
	Папуча десна [mm]	6,00	5,90	5,85	5,70	5,80	5,85
Број пређених, [km]		143050					143050

У табели 4.2 дате су измерене вредности праћених величина елемената кочионог система после пређених 145760 km.

Табела 4.2 Друго мерење вредности геометриских величина елемената кочионог система

Број мерења		Друго мерење					
Мерно место		I мерење	II мерење	III мерење	IV мерење	V мерење	Средња вредност мерење
Лева предња група	Диск [mm]	8,70	8,85	8,80	8,90	8,75	8,80
	Плочица лева [mm]	9,00	8,95	8,85	8,80	8,70	8,86
	Плочица десна [mm]	8,00	7,80	7,65	7,70	7,85	7,80
Десна предња група	Диск [mm]	8,55	8,40	8,50	8,45	8,35	8,45
	Плочица лева [mm]	7,10	7,00	6,95	6,85	6,90	6,95
	Плочица десна [mm]	8,50	8,40	8,35	8,30	8,25	8,36
Лева задња група	Добош [mm]	7,10	7,05	6,95	6,90	6,85	6,97
	Папуча лева [mm]	5,60	5,50	5,45	5,35	5,30	5,44
	Папуча десна [mm]	5,80	5,75	5,60	5,45	5,40	5,60
Десна задња група	Добош [mm]	6,75	6,70	6,65	6,60	6,55	6,65
	Папуча лева [mm]	5,50	5,40	5,35	5,25	5,15	5,33
	Папуча десна [mm]	5,40	5,35	5,30	5,20	5,00	5,25
Број пређених, [km]		145760					145760

У табели 4.3 приказане су измерене вредности праћених величина елемената кочионог система после пређених 148475 km.

Табела 4.3 Треће мерење вредности геометриских величина елемената кочионог система

Број мерења		Треће мерење					
Мерно место		I мерење	II мерење	III мерење	IV мерење	V мерење	Средња вредност мерење
Лева предња група	Диск [mm]	8,60	8,55	8,40	8,50	8,45	8,50
	Плочица лева [mm]	7,45	7,40	7,30	7,25	7,20	7,32
	Плочица десна [mm]	6,40	6,35	6,25	6,20	6,15	6,27
Десна предња група	Диск [mm]	8,25	8,05	8,20	8,10	8,00	8,12
	Плочица лева [mm]	5,05	5,00	4,95	4,90	4,80	4,94
	Плочица десна [mm]	7,00	6,95	6,90	6,80	6,75	6,88
Лева задња група	Добош [mm]	6,30	6,40	6,25	6,50	6,45	6,38
	Папуча лева [mm]	4,90	4,80	4,75	4,60	4,55	4,72
	Папуча десна [mm]	4,85	4,70	4,65	4,50	4,45	4,63
Десна задња група	Добош [mm]	6,20	6,10	6,15	6,25	6,35	6,21
	Папуча лева [mm]	4,85	4,80	4,75	4,70	4,60	4,74
	Папуча десна [mm]	4,95	4,80	4,85	4,75	4,60	4,79
Број пређених, [km]		148475					148475

У табели 4.4 дате су измерене вредности праћених величина елемената кочионог система после пређених 153960 *km*.

Табела 4.4 Четврто мерење геометриских величина елемената кочионог система

Број мерења		Четврто мерење					
Мерно место		I мерење	II мерење	III мерење	IV мерење	V мерење	Средња вредност мерење
Лева предња група	Диск [mm]	8,05	7,90	8,25	8,10	8,00	8,06
	Плочица лева [mm]	5,50	5,30	5,25	5,10	5,05	5,24
	Плочица десна [mm]	4,40	4,25	4,00	4,35	4,10	4,22
Десна предња група	Диск [mm]	7,60	7,50	7,80	7,65	7,70	7,65
	Плочица лева [mm]	3,05	2,90	2,75	2,80	2,95	2,89
	Плочица десна [mm]	5,05	5,00	4,90	4,95	4,80	4,94
Лева задња група	Добош [mm]	6,05	5,60	5,75	5,80	5,95	5,83
	Папуча лева [mm]	4,20	4,10	3,90	4,00	3,95	4,03
	Папуча десна [mm]	4,05	4,00	3,90	3,85	3,75	3,91
Десна задња група	Добош [mm]	5,65	5,80	5,50	5,70	5,55	5,64
	Папуча лева [mm]	4,05	4,00	3,95	3,90	3,85	3,95
	Папуча десна [mm]	4,20	4,00	4,15	3,90	3,95	4,04
Број пређених, [km]		153960					153960

4.2.1 Анализа добијених резултата хабања кочионих дискова

Овом анализом мерених вредности током експлоатације кочионог система биће одређено хабање након одређених временских интервала. На слици 4.4 приказан је изглед кочионог диска са основним параметром за мерење хабања током праћења експеримента.



Слика 4.4 Приказ кочионог диска

У табели 4.5 приказане су резултати мерења дебљине предњег левог кочионог диска путничког возила. При томе све вредности су мерене 5 пута на истом месту, а затим је вршено израчунавање средње аритметичке вредности измерених величина. У табели су дати резултати мерења за све пређене километре.

Табела 4.5 Приказ резултата мерења предњег левог кочионог диска

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
h₁ [mm]	9,20	8,90	8,60	8,25
h₂ [mm]	9,15	8,85	8,55	8,05
h₃ [mm]	9,10	8,80	8,45	7,90
h₄ [mm]	9,05	8,75	8,50	8,10
h₅ [mm]	9,00	8,70	8,40	8,00
h_{sr} [mm]	9,10	8,80	8,50	8,06
Бр. пређених, [km]	143050	145760	148475	153960
h ₁ h ₂ h ₃ h ₄ h ₅ – број узастопних мерења диска, h _{sr} – средња вредност узастопних мерења диска.				

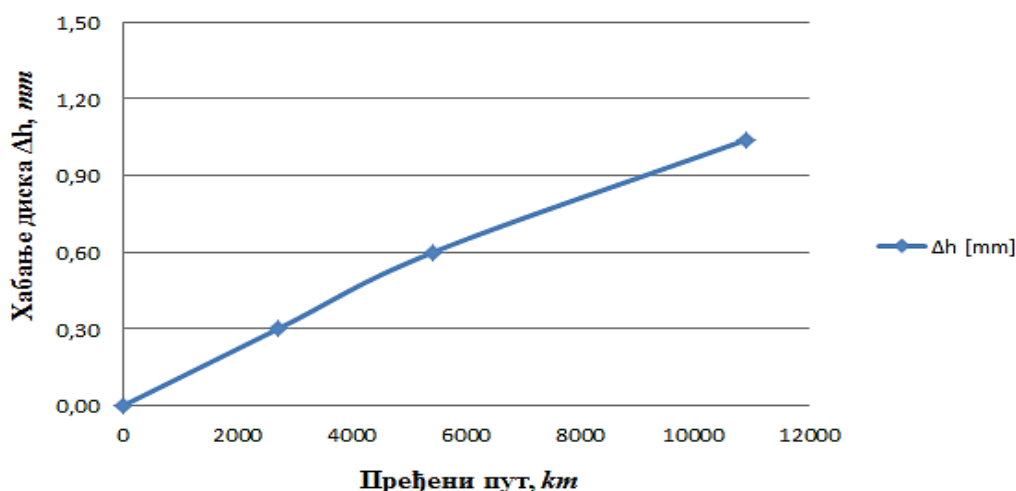
Промена ширине левог кочионог диска рачуна се као разлика измерене ширине (h_i) и предходно измерена ширина диска (h_{i-1}) према обрасцу:

$$\Delta h = h_i - h_{(i-1)} \quad (4.1)$$

Табела 4.6 Приказ вредности хабања кочионог диска предњег левог точка

Бр. мерења	I_m	II_m	III_m	IV_m
Δh [mm]	0	0,30	0,60	1,04
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910

На слици 4.5 је приказан дијаграм хабања кочионог диска предњег левог точка, добијених вредности из табеле 4.6.



Слика 4.5 Дијаграм хабања кочионог диска предњег левог точка

На дијаграму хабања кочионог диска предњег левог точка може се видети крива која је линеарно растућа код које нема промена, тако да је хабање у овом случају идеално у дозвољеним границама током експлоатације. Нема појаве додатних фактора због којих би дошло до повећаног, интензивног хабања.

У табели 4.7 приказане су измерене вредности предњег десног кочионог диска током праћења експеримента.

Табела 4.7 Приказ резултата мерења предњег десног кочионог диска

Бр. мерења	I_m	II_m	III_m	IV_m
h_1	8,85	8,55	8,25	7,80
h_2	8,65	8,40	8,05	7,50
h_3	8,70	8,50	8,20	7,60
h_4	8,75	8,45	8,10	7,65
h_5	8,80	8,35	8,00	7,70
h_{sr}	8,75	8,45	8,12	7,65
Бр. пређених, [km]	143050	145760	148475	153960

$h_1 h_2 h_3 h_4 h_5$ – број узастопних мерења диска,
 h_{sr} – средња вредност узастопних мерења диска.

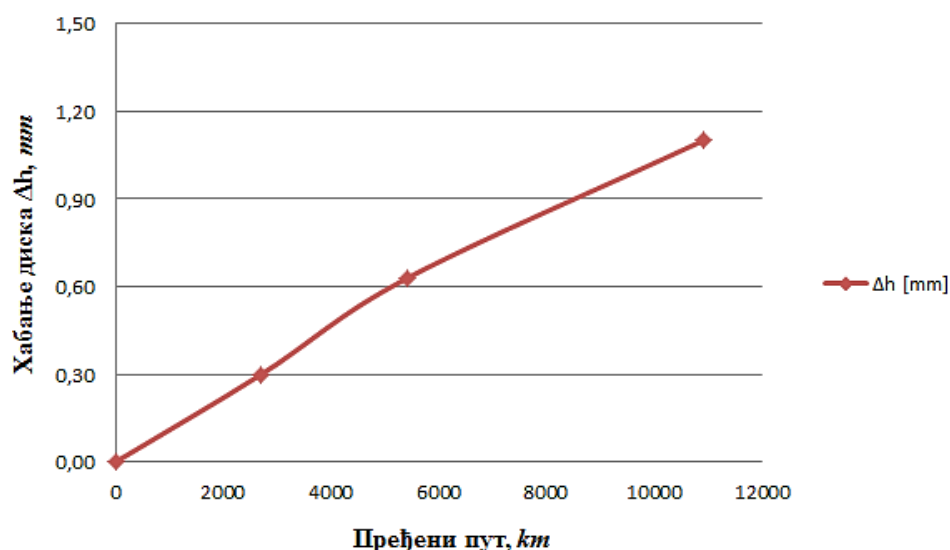
Промена ширине десног кочионог диска рачуна се као разлика измерене ширине (h_i) и предходно измерена ширина диска (h_{i-1}) према обрасцу:

$$\Delta h = h_i - h_{(i-1)} \quad (4.2)$$

Табела 4.8 Приказ вредности хабања кочионог диска предњег десног точка

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
Δh [mm]	0	0,30	0,63	1,10
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910

На слици 4.6 је приказан дијаграм хабања кочионог диска предњег десног точка, добијених вредности из табеле 4.8.



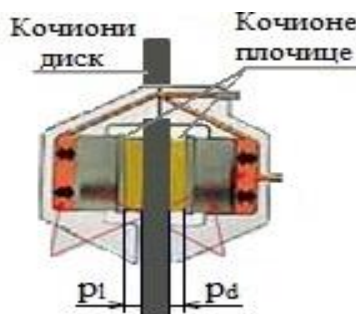
Слика 4.6 Дијаграм хабања кочионог диска предњег десног точка

На дијаграму хабања кочионог диска предњег десног точка може се видети крива која је линеарно растућа код које нема драстичних промена, тако да је хабање у овом случају идеално у дозвољеним границама током експлоатације.

4.2.2 Анализа добијених резултата хабања кочионих плочица

Анализом мерених вредности током експлоатације кочионог система биће одређено хабање након одређених временских интервала. Кочионе плочице током праћења експеримента су мерене за четири временска интервала. Мерења током експеримента су приказана у следећој табели.

На слици 4.7 приказан је изглед кочионих плочица са основним параметром за мерење хабања током експлоатације.



Слика 4.7 Изглед предње кочионице диска са плочицама

Резултати мерења дебљине предње леве и десне кочионе плочице на левом предњем точку путничког возила, приказане су у табели 4.9. Приказане вредности су мерене 5 пута на истом мерном месту након чега је вршено израчунавање средње аритметичке вредности измерених величина.

Табела 4.9 Приказ мерења леве и десне кочионе плочице на предњем левом точку

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
p _{l1}	9,50	9,00	7,45	5,50
p _{l2}	9,40	8,95	7,40	5,30
p _{l3}	9,35	8,85	7,30	5,25
p _{l4}	9,30	8,80	7,25	5,10
p _{l5}	9,25	8,70	7,20	5,05
p_{lsr}	9,36	8,86	7,32	5,24
p _{d1}	8,50	8,00	6,40	4,40
p _{d2}	8,45	7,80	6,35	4,25
p _{d3}	8,30	7,65	6,25	4,00
p _{d4}	8,40	7,70	6,20	4,35
p _{d5}	8,35	7,85	6,15	4,10
p_{dsr}	8,40	7,80	6,27	4,22
Бр. пређених, [km]	143050	145760	148475	153960
p_{l1} p_{l2} p_{l3} p_{l4} p_{l5} - број узаstopних мерења леве плочице, p_{lsr} - средња вредност узаstopних мерења леве плочице, p_{d1} p_{d2} p_{d3} p_{d4} p_{d5} - број узаstopних мерења десне плочице, p_{dsr} - средња вредност узаstopних мерења десне плочице.				

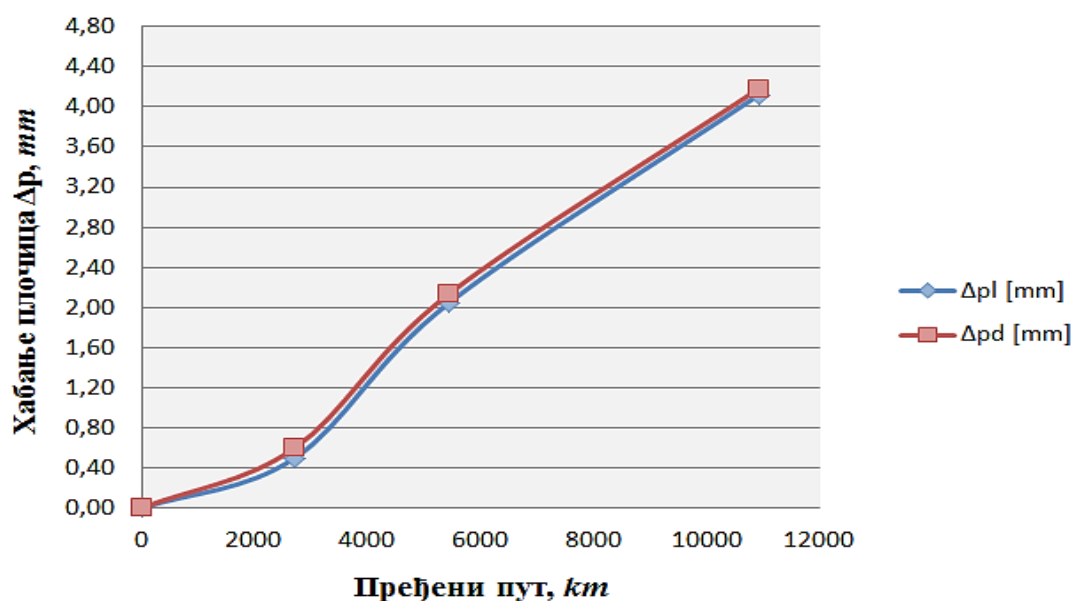
Промена ширине леве и десне кочионе плочице на предњем левом точку, рачуна се као разлика измерене ширине (p_i) и предходно измерена ширина плочице (p_{i-1}) према обрасцу:

$$\Delta p = p_i - p_{(i-1)} \quad (4.3)$$

Табела 4.10 Приказ вредности хабања кочионих плочица левог точка

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
Δp_l [mm]	0	0,50	2,04	4,12
Δp_d [mm]	0	0,60	2,13	4,18
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910
Δp_l – вредности хабања леве плочице, Δp_d – вредности хабања десне плочице.				

На слици 4.8 је приказан дијаграм хабања кочионих плочица предњег левог точка, добијених вредности из табеле 4.10.



Слика 4.8 Дијаграм хабања кочионих плочица предњег левог точка

На дијаграму хабања кочионих плочица предњег левог точка могу се видети криве које су линеарно растуће код којих нема драстичних промена, које се подједнако хабају, тако да систем идеално функционише. На основу добијеног дијаграма, не постоје додатни фактори због којих би се поваћало хабање леве или десне кочионе плочице.

У табели 4.11 су дате дебљине леве и десне кочионе плочице на десном предњем точку путничког возила. Дате вредности су мерене 5 пута на истом месту, а затим је израчуната средња аритметичка вредност измерених величина.

Табела 4.11 Приказ мерења леве и десне кочионе плочице на предњем десном точку

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
p _{l1} [mm]	8,45	7,10	5,05	3,05
p _{l2} [mm]	8,40	7,00	5,00	2,90
p _{l3} [mm]	8,30	6,95	4,95	2,75
p _{l4} [mm]	8,25	6,85	4,90	2,80
p _{l5} [mm]	8,20	6,90	4,80	2,95
p_{lsr} [mm]	8,32	6,95	4,94	2,89
p _{d1} [mm]	9,05	8,50	7,00	5,05
p _{d2} [mm]	8,95	8,40	6,95	5,00
p _{d3} [mm]	8,90	8,35	6,90	4,90
p _{d4} [mm]	8,85	8,30	6,80	4,95
p _{d5} [mm]	8,80	8,25	6,75	4,80
p_{dsr} [mm]	8,91	8,36	6,88	4,94
Бр. пређених, [km]	143050	145760	148475	153960
p_{l1} p_{l2} p_{l3} p_{l4} p_{l5} - број узаstopних мерења леве плочице, p_{lsr} - средња вредност узаstopних мерења леве плочице, p_{d1} p_{d2} p_{d3} p_{d4} p_{d5} - број узаstopних мерења десне плочице, p_{dsr} - средња вредност узаstopних мерења десне плочице.				

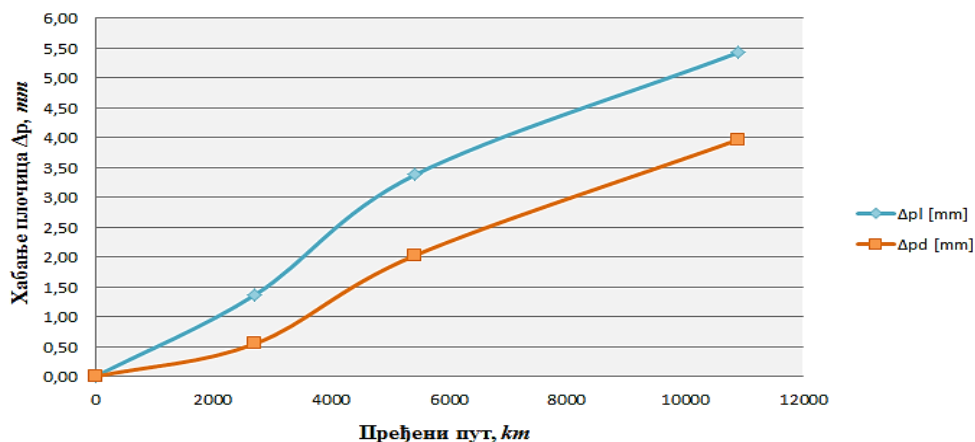
Промена ширине леве и десне кочионе плочице на предњем десном точку, рачуна се као разлика измерене ширине (p_i) и предходно измерена ширина плочице (p_{i-1}) према обрасцу:

$$\Delta p = p_i - p_{(i-1)} \quad (4.4)$$

Табела 4.12 Приказ вредности хабања кочионих плочица десног точка

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
Δp_l [mm]	0	1,37	3,38	5,43
Δp_d [mm]	0	0,55	2,03	3,97
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910
Δp_l – вредности хабања леве плочице, Δp_d – вредности хабања десне плочице.				

На слици 4.9 је приказан дијаграм хабања кочионих плочица предњег десног точка, добијених вредности из табеле 4.12.

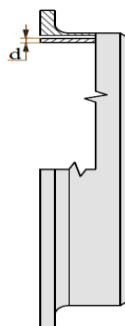


Слика 4.9 Дијаграм хабања кочионих плочица предњег десног точка

На дијаграму хабања кочионих плочица предњег десног точка могу се видети криве које су растуће, код којих постоје драстичних промена, које се неједнако хабају, тако да у овом случају постоји интензивно хабање на левој плочици, због блокирања левог клипа на кочионим чељустима. На основу добијеног дијаграма, може се видети да услед неадекватног функционисања клипова на чељустима може доћи до интензивног хабања и убрзаног отказа плочице.

4.2.3 Анализа добијених резултата хабања кочионих добоша

Анализом мерених вредности током експлоатације задњег кочионог система биће утврђено хабање након одређених временских интервала. На следећој слици 4.10 приказан је изглед кочионог добоша са основним параметром за мерење хабања током експлоатације.



Слика 4.10 Кочиони добош задњег точка

У следећем случају биће анализирани вредности хабања добоша на левом задњем точку, приказаном у табели 4.13.

Табела 4.13 Приказ резултата мерења кочионог добоша задњег левог точка

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
d ₁ [mm]	7,45	7,10	6,75	6,45
d ₂ [mm]	7,40	7,05	6,70	6,40
d ₃ [mm]	7,30	6,95	6,65	6,35
d ₄ [mm]	7,25	6,90	6,55	6,30
d ₅ [mm]	7,20	6,85	6,50	6,25
d _{sr} [mm]	7,32	6,97	6,63	6,35
Бр. пређених, [km]	143050	145760	148475	153960

*d₁ d₂ d₃ d₄ d₅ – број узастопних мерења добоша,
d_{sr} – средња вредност узастопних мерења добоша.*

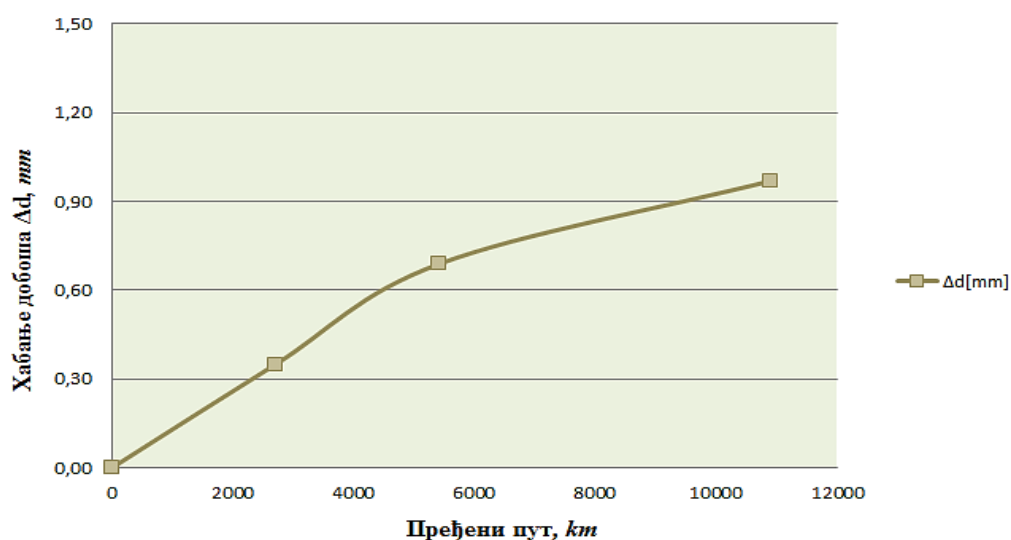
Промена ширине левог кочионог добоша рачуна се као разлика измерене ширине (d_i) и предходно измерена ширина добоша (d_{i-1}) према обрасцу:

$$\Delta d = d_i - d_{(i-1)} \quad (4.4)$$

Табела 4.14 Вредности хабања кочионог добоша задњег левог точка

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
Δd [mm]	0	0,35	0,69	0,97
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910

На слици 4.11 је приказан дијаграм хабања кочионог добоша задњег левог точка, добијених вредности из табеле 4.14.



Слика 4.11 Дијаграм хабања кочионог добоша задњег левог точка

На дијаграму хабања кочионог добоша задњег левог точка може се видети крива која је на почетку растућа, а након неког интервала почиње да опада. Хабање у почетном интервалу мерења је знатно повећано због малог зазора између папуче и добоша. Како су се папуче интензивније хабале, зазор се повећавао што је касније довело до пада хабања између добоша и папуче. У овом делу експеримента један од додатних фактора због кога је дошло до интензивнијег хабања у почетку је делимично блокирање ручне кочнице на левом задњем точку.

У табели 4.15 приказане су измерене вредности десног кочионог добоша током експлоатације.

Табела 4.15 Приказ резултата мерења кочионог добоша задњег десног точка

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
d₁ [mm]	7,00	6,75	6,40	6,00
d₂ [mm]	6,90	6,70	6,35	5,95
d₃ [mm]	6,95	6,65	6,30	5,90
d₄ [mm]	6,80	6,60	6,25	5,80
d₅ [mm]	6,85	6,55	6,15	5,75
d_{sr} [mm]	6,90	6,65	6,29	5,88
Бр. пређених, [km]	143050	145760	148475	153960
<i>d₁ d₂ d₃ d₄ d₅ – број узастопних мерења добоша, d_{sr} – средња вредност узастопних мерења добоша.</i>				

Промена ширине десног кочионог добоша рачуна се као разлика измерене ширине (d_i) и предходно измерена ширина добоша (d_{i-1}) према обрасцу:

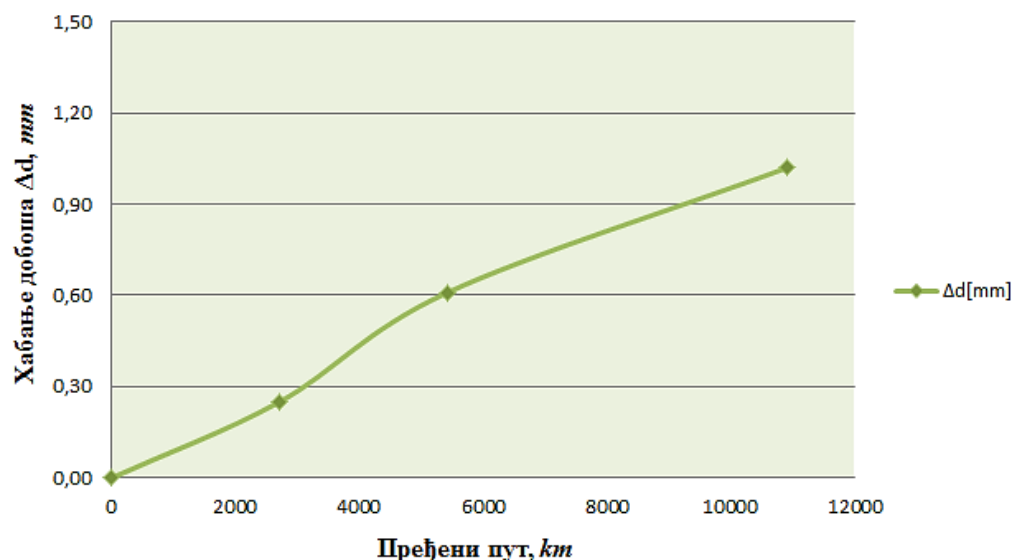
$$\Delta d = d_i - d_{(i-1)} \quad (4.5)$$

Табела 4.16 Вредности хабања кочионог добоша задњег десног точка

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
Δd [mm]	0	0,25	0,61	1,02
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910

На следећој слици биће приказан дијаграм са вредностима хабања задњег десног добоша током мерења у одређеним временским интервалима, добијених вредности из табеле 4.16.

На слици 4.12 је приказан дијаграм хабања кочионог добоша задњег десног точка.

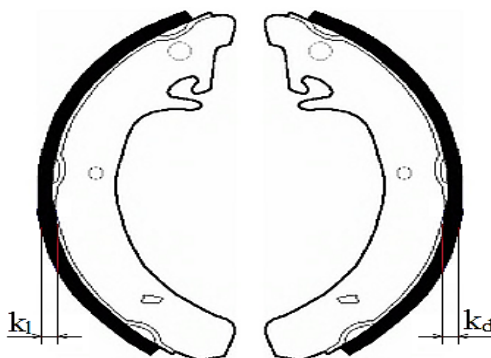


Слика 4.12 Дијаграм хабања кочионог добоша задњег десног точка

На дијаграму хабања кочионог добоша задњег десног точка може се видети крива која је растућа, са малим одступањима. Хабање у почетном интервалу мерења је повећано због малог зазора између папуче и добоша, након одређеног интервала како се повећава зазор долази до смањења интензитета хабања. У овом делу експеримента није било додатних фактора због којих би дошло до повећаног, интензивног хабања добоша.

4.2.4 Анализа добијених резултата хабања кочионих папуча

Анализом мерених вредности током експлоатације кочионог система биће одређено хабање фрикционих облога папуча након одређених временских интервала. На слици 4.13 приказан је изглед задњих кочионих папуча са основним параметром за мерење хабања током експлоатације.



Слика 4.13 Кочионе папуче задњег точка

У табели 4.17 су приказани резултати мерења дебљине кочионих папуча леве и десне на задњем левом точку путничког возила. При томе су све вредности мерене 5 пута на истом начину, а затим је вршено израчунавање средње аритметичке вредности измерених величина.

Табела 4.17 Резултати мерења леве и десне кочионе папуче задњег левог точка

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
k _{l1} [mm]	6,30	5,60	4,90	4,20
k _{l2} [mm]	6,25	5,50	4,80	4,10
k _{l3} [mm]	6,10	5,45	4,75	3,90
k _{l4} [mm]	6,00	5,35	4,60	4,00
k _{l5} [mm]	5,90	5,30	4,55	3,95
k_{lsr} [mm]	6,11	5,44	4,72	4,03
k _{d1} [mm]	6,45	5,80	4,85	4,05
k _{d2} [mm]	6,40	5,75	4,70	4,00
k _{d3} [mm]	6,30	5,60	4,65	3,90
k _{d4} [mm]	6,20	5,45	4,50	3,85
k _{d5} [mm]	6,15	5,40	4,45	3,75
k_{dsr} [mm]	6,30	5,60	4,63	3,91
Бр. пређених, [km]	143050	145760	148475	153960
<i>k_{l1} k_{l2} k_{l3} k_{l4} k_{l5} - број узастопних мерења леве папуче, k_{lsr} - средња вредност узастопних мерења леве папуче, k_{d1} k_{d2} k_{d3} k_{d4} k_{d5} - број узастопних мерења десне папуче, k_{dsr} - средња вредност узастопних мерења десне папуче.</i>				

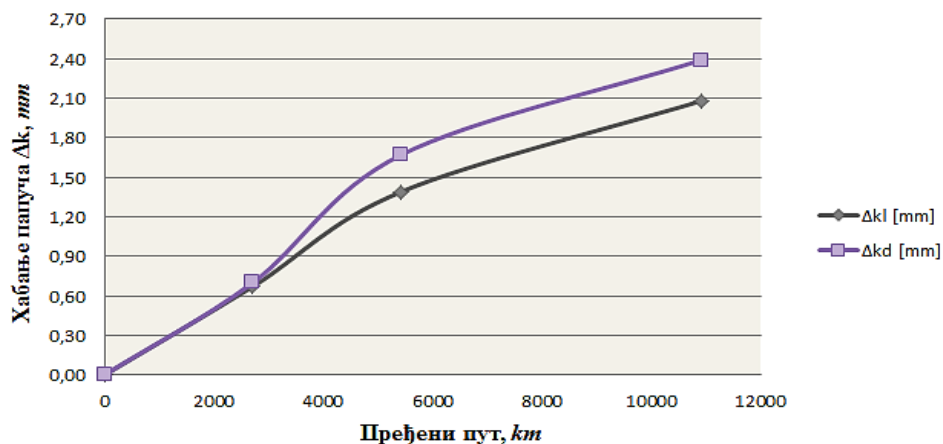
Промена ширине леве и десне кочионе папуче на задњем левом точку, рачуна се као разлика измерене ширине (k_i) и предходно измерена ширина папуче (k_{i-1}) према обрасцу:

$$\Delta k = k_i - k_{(i-1)} \quad (4.6)$$

Табела 4.18 Вредности хабања кочионих папуча задњег левог точка

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
Δk_l [mm]	0	0,67	1,39	2,08
Δk_d [mm]	0	0,70	1,67	2,39
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910
<i>Δk_l – вредности хабања леве папуче, Δk_d – вредности хабања десне папуче.</i>				

На слици 4.14 приказан је дијаграм хабања кочионих папуча задњег левог точка, добијених вредности из табеле 4.18.



Слика 4.14 Дијаграм хабања кочионих папуча задњег левог точка

На дијаграму хабања кочионих папуча задњег левог точка могу се видети криве које су растуће и код којих постоје драстичне промене након одређеног временског интервала, услед смањеног зазора између папуча и добоша током експлоатације долази до повећаног хабања примарне папуче због остваривања већег момента кочења у односу на секундарну, тако да је на примарној папучи увек интензивније хабање. На основу добијеног дијаграма током експеримента, дошло је до делимичног блокирања ручне кочнице на левом задњем точку због кога је веће хабање примарне кочионе папуче у односу на секундарну.

У табели 4.19 дате су измерене вредности леве и десне кочионе папуче на задњем десном точку путничког возила.

Табела 4.19 Резултати мерења леве и десне кочионе папуче задњег десног точка

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
k_{l1} [mm]	6,10	5,50	4,85	4,05
k_{l2} [mm]	5,90	5,40	4,80	4,00
k_{l3} [mm]	5,85	5,35	4,75	3,95
k_{l4} [mm]	5,80	5,25	4,70	3,90
k_{l5} [mm]	6,00	5,15	4,60	3,85
k_{lsr} [mm]	5,93	5,33	4,74	3,95
k_{d1} [mm]	6,00	5,40	4,95	4,20
k_{d2} [mm]	5,90	5,35	4,80	4,00
k_{d3} [mm]	5,85	5,30	4,85	4,15
k_{d4} [mm]	5,70	5,20	4,75	3,90
k_{d5} [mm]	5,80	5,00	4,60	3,95
k_{dsr} [mm]	5,85	5,25	4,79	4,04
Бр. пређених, [km]	143050	145760	148475	153960

k_{l1} k_{l2} k_{l3} k_{l4} k_{l5} - број узаstopних мерења леве папуче,
 k_{lsr} - средња вредност узаstopних мерења леве папуче,
 k_{d1} k_{d2} k_{d3} k_{d4} k_{d5} - број узаstopних мерења десне папуче,
 k_{dsr} - средња вредност узаstopних мерења десне папуче.

Промена ширине леве и десне кочионе папуче на задњем десном точку, рачуна се као разлика измерене ширине (k_i) и предходно измерена ширина папуче (k_{i-1}) према обрасцу:

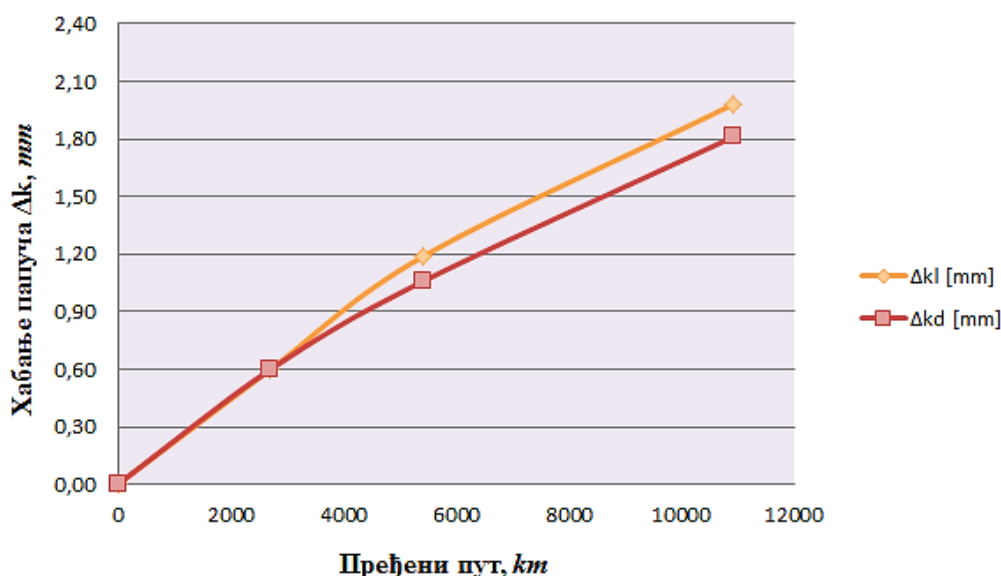
$$\Delta k = k_i - k_{(i-1)} \quad (4.7)$$

Табела 4.20 Вредности хабања кочионих папуча задњег десног точка

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
Δk_l [mm]	0	0,60	1,19	1,98
Δk_d [mm]	0	0,60	1,06	1,81
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910

Δk_l – вредности хабања леве папуче,
 Δk_d – вредности хабања десне папуче.

На слици 4.15 приказан је дијаграм хабања кочионих папуча задњег десног точка, добијених вредности из табеле 4.20.



Слика 4.15 Дијаграм хабања кочионих папуча задњег десног точка

На дијаграму хабања кочионих папуча задњег левог точка могу се видети криве које су линеарно растуће и код којих постоје промене након одређеног временског интервала, услед смањеног зазора између папуча и добоша током експлоатације долази до повећаног хабања примарне папуче због остваривања већег момента кочења у односу на секундарну папучу, тако да је на примарној папучи увек интензивније хабање. На основу добијеног дијаграма током експеримента, не постоје додатни фактори због којих би дошло до интензивнијег хабања леве или десне кочионе папуче.

4.3 Упоредна анализа добијених резултата

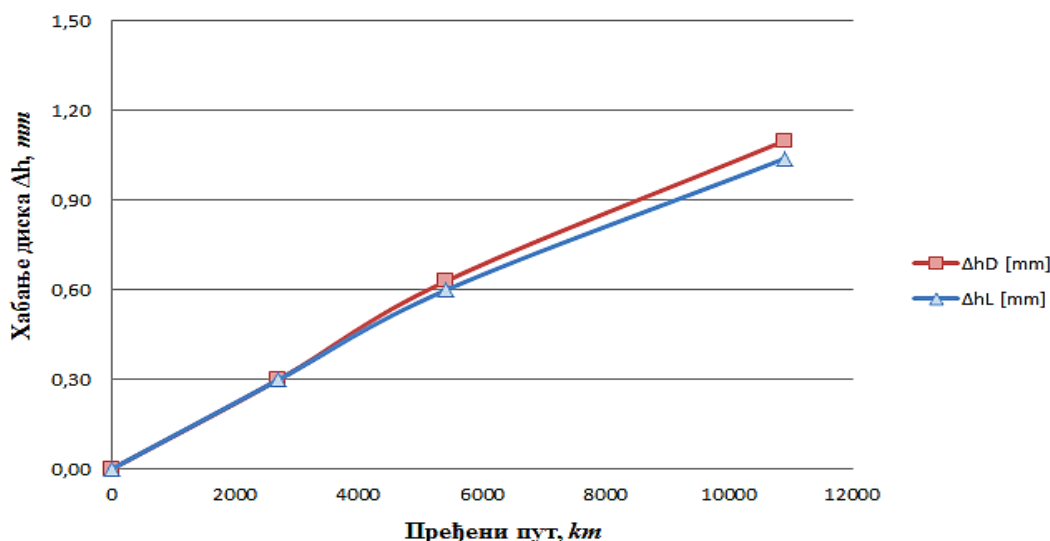
Упоредна анализа резултата је потребна како би се установило колико је хабање појединих кочионих елемената у односу на друге. Прво поређење извршено је на кочионим дисковима предњег левог и десног точка. У табели 4.21 су приказане вредности хабања левог и десног кочионог диска.

Табела 4.21 Вредности хабања кочионог диска на предњем левом и десном точку

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
Δh_L [mm]	0	0,30	0,60	1,04
Δh_D [mm]	0	0,30	0,63	1,10
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910

Δh_L – вредности хабања левог диска,
 Δh_D – вредности хабања десног диска.

На слици 4.16 приказан је дијаграм упоредног хабања кочионих дискова предњег левог и десног точка, добијених вредности из табеле 4.21.



Слика 4.16 Упоредни дијаграм хабања кочионог диска на предњем левом и десном точку

На упоредном дијаграму хабања кочионих дискова могу се видети криве које су линеарно растуће и код којих нема драстичних промена, тако да је хабање у овом случају идеално у дозвољеним границама током експлоатације. Једина појава додатног фактора уочена је на десном кочионом диску због блокирања клипа на чељустима који је изазвао интензивније хабање у односу на леви кочиони диск.

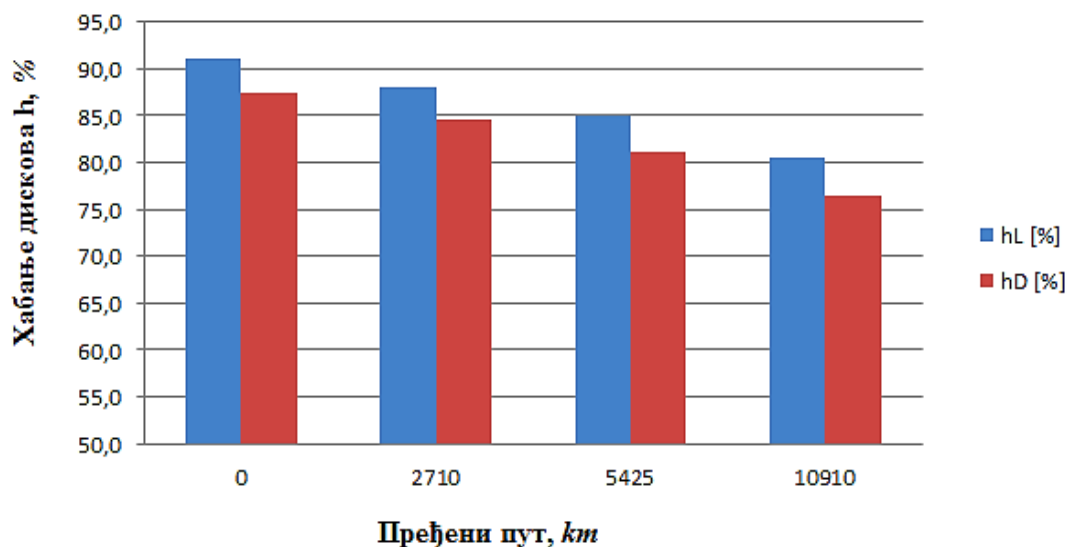
Како би се упоредно хабање кочионих дискова приказало у процентима потребно је узети у обзир почетну дебљину диска од 10 mm и средње вредности током мерења, да би се установила тренутна дебљина диска у процентима.

Упоредне вредности дискова током експлоатације приказане су у табели 4.22.

Табела 4.22 Вредности хабања предњих кочионих дискова

Бр. мерења	I_m	II_m	III_m	IV_m
$h_{Lsr} [mm]$	9,10	8,80	8,50	8,06
$h_{Dsr} [mm]$	8,75	8,45	8,12	7,65
$h_L [\%]$	91,0	88,0	85,0	80,6
$h_D [\%]$	87,5	84,5	81,2	76,5
Бр. пређених [km]	0	2710	5425	10910
h_{Lsr} - средња вредност узастопних мерења левог диска, h_{Dsr} - средња вредност узастопних мерења десног диска, h_L - процентуална вредност похабаности левог диска, h_D - процентуална вредност похабаности десног диска.				

На слици 4.17 приказан је дијаграм упоредног хабања кочионих дискова предњег левог и десног точка, добијених вредности из табеле 4.21.



Слика 4.17 Упоредни дијаграм хабања предњих кочионих дискова

На упоредном дијаграму процентуалног хабања кочионих дискова може се видети похабаност кочионих дискова код којих нема драстичних промена хабања током спровођења експеримента.

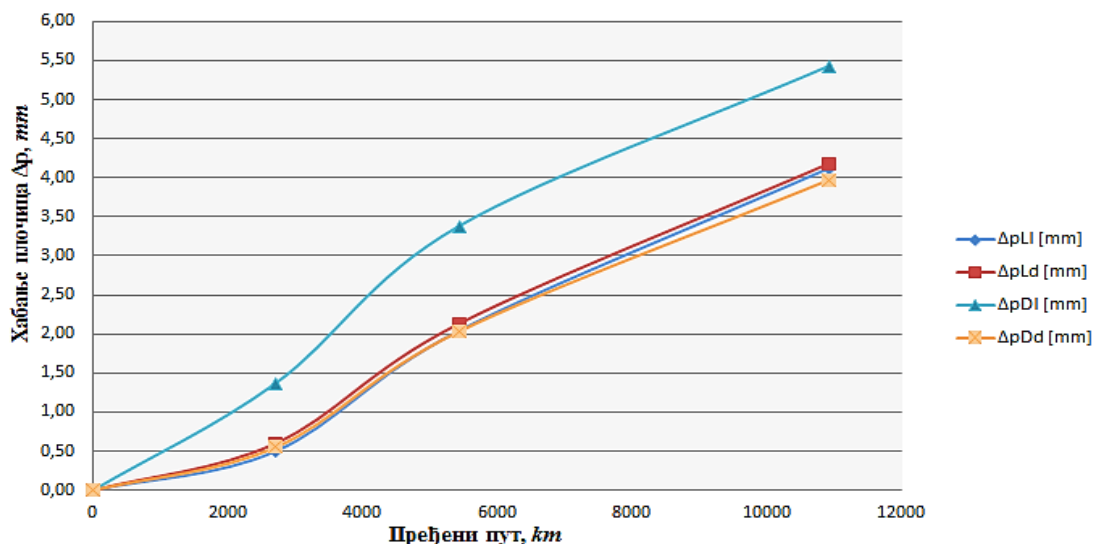
Друго поређење извршено је на кочионим плочицама предњег левог и десног точка. У табели 4.23 приказане су вредности хабања левих и десних кочионих плочица.

Табела 4.23 Вредности хабања предњих кочионих плочица

Бр. мерења	I_m	II_m	III_m	IV_m
Δp_{LI} [mm]	0	0,50	2,04	4,12
Δp_{Ld} [mm]	0	0,60	2,13	4,18
Δp_{DI} [mm]	0	1,37	3,38	5,43
Δp_{Dd} [mm]	0	0,55	2,03	3,97
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910

Δp_{LI} – вредности хабања леве плочице предњег левог точка,
 Δp_{Ld} – вредности хабања десне плочице предњег левог точка,
 Δp_{DI} – вредности хабања леве плочице предњег десног точка,
 Δp_{Dd} – вредности хабања десне плочице предњег десног точка.

На слици 4.18 приказан је дијаграм упоредног хабања кочионих плочица предњег левог и десног точка, добијених вредности из табеле 4.23.



Слика 4.18 Упоредни дијаграм хабања кочионих плочица

На упоредном дијаграму хабања кочионих плочица могу се видети криве које су растуће и код којих се јавља драстична промена на предњем десном кочионом точку леве плочице, где је хабање нагло расте, а за остале кочионе плочице је идеално у дозвољеним границама током експлоатације. Једина појава додатног фактора уочена је на десном точку због блокирања клипа на чељустима који је изазвао интензивније хабање у односу на остале кочионе плочице.

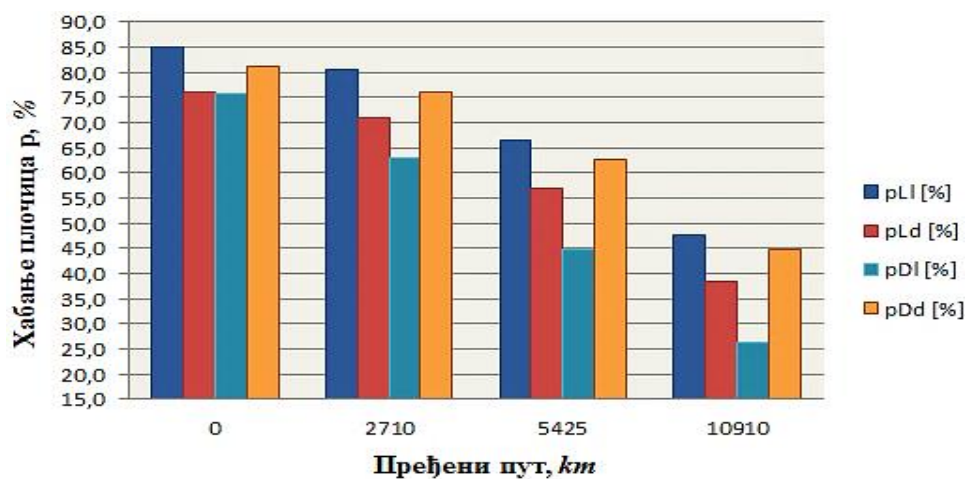
Како би се упоредно хабање кочионих плочица приказало у процентима потребно је узети у обзир почетну дебљину плочица од 11 mm и средње вредности током мерења, да би се установила тренутна дебљина плочица у процентима. Упоредне вредности кочионих плочица током експлоатације приказане су у табели 4.24.

Табела 4.24 Вредности хабања предњих кочионих плочица

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
p_{Llsr} [mm]	9,36	8,86	7,32	5,24
p_{Ldsr} [mm]	8,40	7,80	6,27	4,22
p_{Dlsr} [mm]	8,32	6,95	4,94	2,89
p_{Ddsr} [mm]	8,91	8,36	6,88	4,94
p_{LI} [%]	85,0	80,5	66,5	47,6
p_{Ld} [%]	76,0	70,9	57,0	38,3
p_{DI} [%]	75,6	63,1	44,9	26,2
p_{Dd} [%]	81,0	76,0	62,5	44,9
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910

p_{Llsr} - средња вредност узаstopних мерења леве плочице предњег левог точка,
 p_{Ldsr} - средња вредност узаstopних мерења десне плочице предњег левог точка,
 p_{Dlsr} - средња вредност узаstopних мерења леве плочице предњег десног точка,
 p_{Ddsr} - средња вредност узаstopних мерења десне плочице предњег десног точка,
 p_{LI} – процентуална вредност похабаности леве плочице предњег левог точка,
 p_{Ld} – процентуална вредност похабаности десне плочице предњег левог точка,
 p_{DI} – процентуална вредност похабаности леве плочице предњег десног точка,
 p_{Dd} - процентуална вредност похабаности десне плочице предњег десног точка.

На слици 4.19 приказан је дијаграм упоредног хабања кочионих плочица предњег левог и десног точка, добијених вредности из табеле 4.24.



Слика 4.19 Упоредни дијаграм хабања кочионих плочица

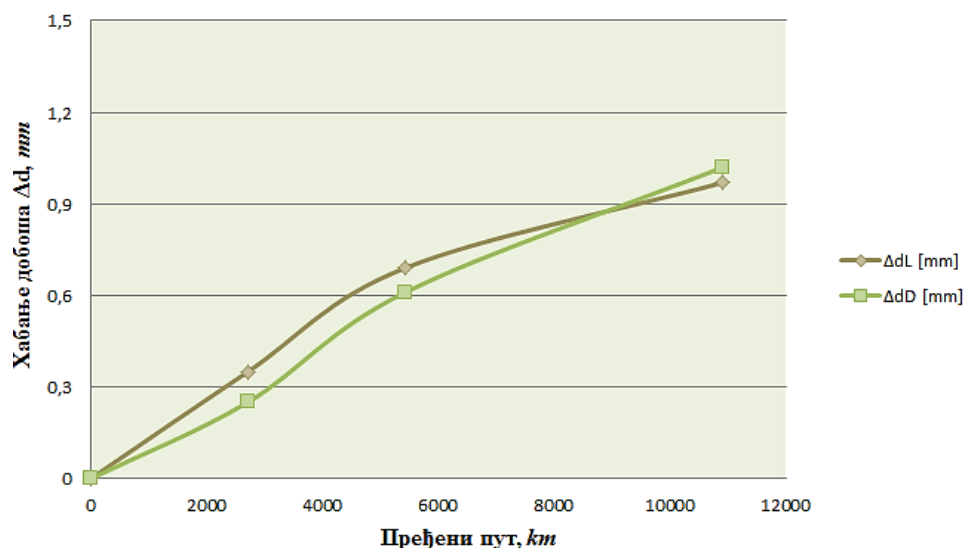
На упоредном дијаграму процентуалног хабања кочионих плочица може се видети похабаност кочионих плочица код којих је драстична промена хабања током спровођења експеримента на предњем десном точку леве плочице, док остале плочице имају приближне вредности.

Треће поређење извршено је на кочионим добошима задњем левом и десном точку. У табели 4.25 су приказане вредности хабања левог и десног кочионог добоша.

Табела 4.25 Вредности хабања задњих кочионих добоша

Бр. мерења	I_m	II_m	III_m	IV_m
Δd_L [mm]	0	0,35	0,69	0,97
Δd_D [mm]	0	0,25	0,61	1,02
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910
Δd_L – вредности хабања левог добоша, Δd_D – вредности хабања десног добоша.				

На слици 4.20 приказан је дијаграм упоредног хабања кочионих добоша задњег левог и десног точка, добијених вредности из табеле 4.25.



Слика 4.20 Упоредни дијаграм хабања кочионих добоша

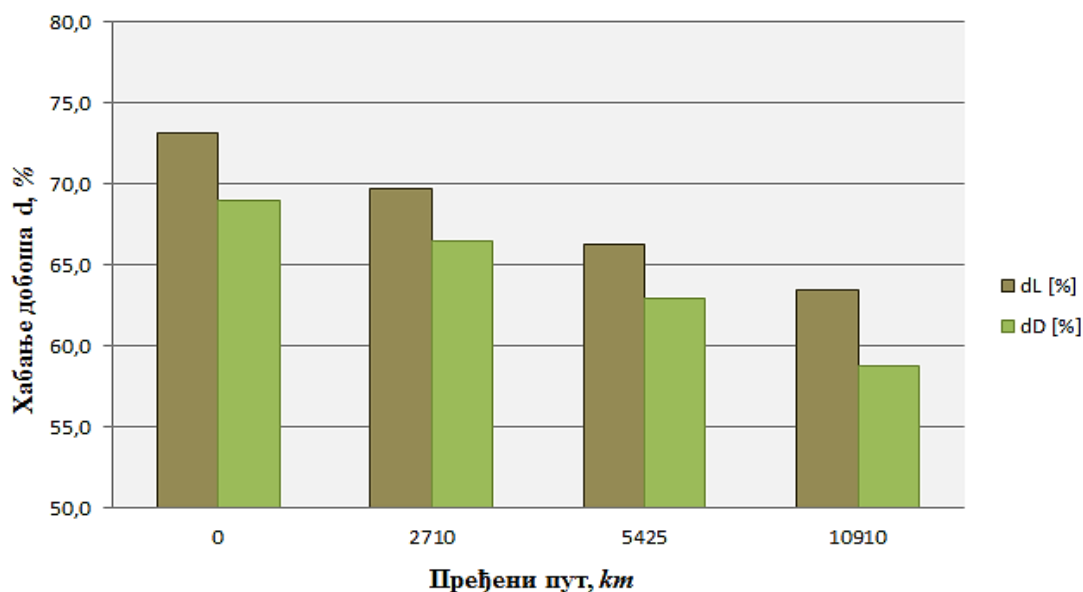
На упоредном дијаграму хабања кочионих добоша могу се видети криве које су растуће и код којих постоји промена леве криве, тако да је хабање добоша у почетку било појачано на левом добошу услед малог зазора између папуча и добоша, док се десни добош хабао у дозвољеним границама. Једина појава додатног фактора уочена је на левом кочионом добошу због делимичног блокирања ручне кочице која је изазвала интензивније хабање у односу на десни кочиони добош.

Како би се упоредно хабање кочионих добоша приказало у процентима потребно је узети у обзир почетну дебљину добоша од 10 mm и средње вредности током мерења, да би се установила тренутна дебљина добоша у процентима. Упоредне вредности кочионих добоша током експлоатације приказане су у табели 4.26.

Табела 4.26 Вредности хабања задњих кочионих добоша

Бр. мерења	I_m	II_m	III_m	IV_m
d_{Lsr} [mm]	7,32	6,97	6,63	6,35
d_{Dsr} [mm]	6,90	6,65	6,29	5,88
d_L [%]	73,2	69,7	66,3	63,5
d_D [%]	69,0	66,5	62,9	58,8
Бр. пређених [km]	0	2710	5425	10910
d_{Lsr} - средња вредност узаstopних мерења левог добоша, d_{Dsr} - средња вредност узаstopних мерења десног добоша, d_L – процентуална вредност похабаности левог добоша, d_D - процентуална вредност похабаности десног добоша.				

На слици 4.21 приказан је дијаграм упоредног хабања кочионих добоша задњег левог и десног точка, добијених вредности из табеле 4.26.



Слика 4.21 Упоредни дијаграм хабања кочионих добоша

На упоредном дијаграму процентуалног хабања кочионих добоша може се видети похабаност кочионих добоша код којих се могу уочити мале промене хабања у односу на почетне вредности, током спровођења експеримента.

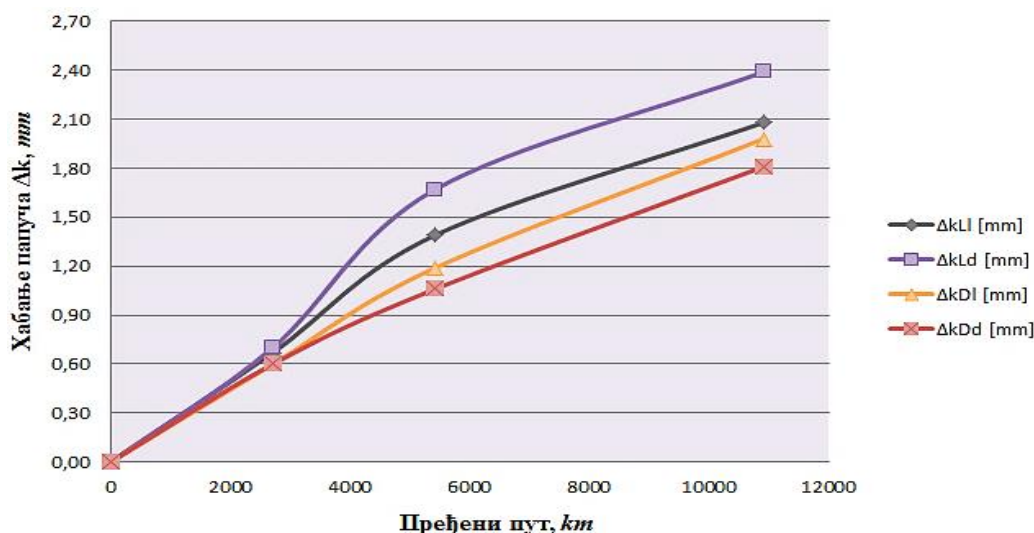
Четврто поређење извршено је на кочионим папучама предњег левог и десног точка. У табели 4.27 приказане су вредности хабања задњих левих и десних кочионих папуча.

Табела 4.27 Вредности хабања задњих кочионих папуча

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
Δk_{LI} [mm]	0	0,67	1,39	2,08
Δk_{Ld} [mm]	0	0,70	1,67	2,39
Δk_{DI} [mm]	0	0,60	1,19	1,98
Δk_{Dd} [mm]	0	0,60	1,06	1,81
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910

Δk_{LI} – вредности хабања леве папуче предњег левог точка,
 Δk_{Ld} – вредности хабања десне папуче предњег левог точка,
 Δk_{DI} – вредности хабања леве папуче предњег десног точка,
 Δk_{Dd} – вредности хабања десне папуче предњег десног точка.

На слици 4.22 приказан је дијаграм упоредног хабања кочионих папуча задњег левог и десног точка, добијених вредности из табеле 4.27.



Слика 4.22 Упоредни дијаграм хабања кочионих папуча

На упоредном дијаграму хабања кочионих папуча могу се видети криве које су растуће и код којих се јавља драстична промена на задњем левом кочионом точку десне папуче, где је хабање нагло расте, а за остале кочионе плочице је идеално у дозвољеним границама током експлоатације. Једина појава додатног фактора уочена је на левом задњем точку због делимичног блокирања ручне кочице која је изазвала интензивније хабање у односу на остале кочионе папуче.

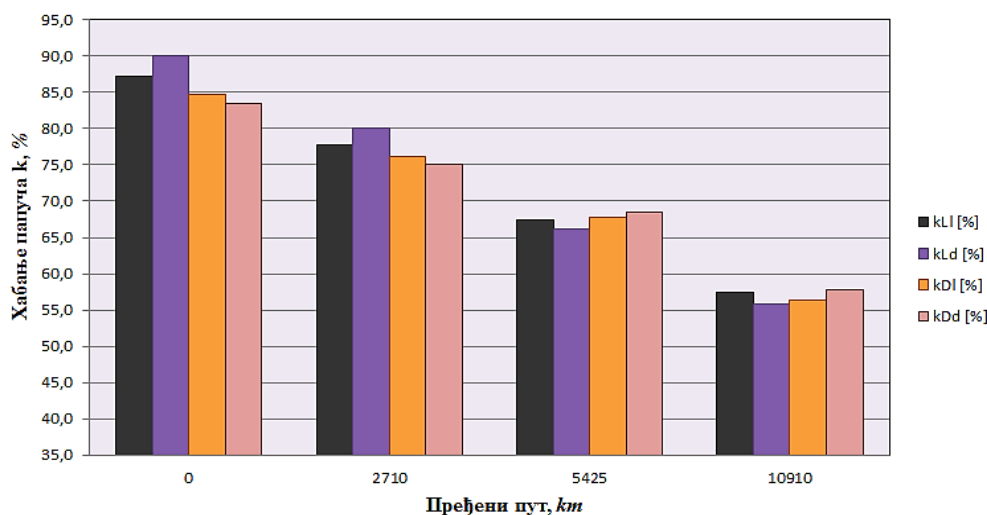
Како би се упоредно хабање кочионих папуча приказало у процентима потребно је узети у обзир почетну дебљину папуча од 7 mm и средње вредности током мерења, да би се установила тренутна дебљина папуча у процентима. Упоредне вредности кочионих папуча током експлоатације приказане су у табели 4.28.

Табела 4.28 Вредности хабања задњих кочионих папуча

Бр. мерења	I _m	II _m	III _m	IV _m
k_{Llsr} [mm]	6,11	5,44	4,72	4,03
k_{Ldsr} [mm]	6,30	5,60	4,63	3,91
k_{Dlsr} [mm]	5,93	5,33	4,74	3,95
k_{Ddsr} [mm]	5,85	5,25	4,79	4,04
k_{LI} [%]	87,2	77,7	67,4	57,5
k_{Ld} [%]	90,0	80,0	66,1	55,8
k_{DI} [%]	84,7	76,1	67,7	56,4
k_{Dd} [%]	83,5	75,0	68,4	57,7
Бр. пређених, [km]	0	2710	5425	10910

k_{Llsr} - средња вредност узаstopних мерења леве папуче предњег левог точка,
 k_{Ldsr} - средња вредност узаstopних мерења десне папуче предњег левог точка,
 k_{Dlsr} - средња вредност узаstopних мерења леве папуче предњег десног точка,
 k_{Ddsr} - средња вредност узаstopних мерења десне папуче предњег десног точка,
 k_{LI} – процентуална вредност похабаности леве папуче предњег левог точка,
 k_{Ld} – процентуална вредност похабаности десне папуче предњег левог точка,
 k_{DI} – процентуална вредност похабаности леве папуче предњег десног точка,
 k_{Dd} - процентуална вредност похабаности десне папуче предњег десног точка.

На слици 4.23 приказан је дијаграм упоредног хабања кочионих папуча задњег левог и десног точка, добијених вредности из табеле 4.28.



Слика 4.23 Упоредни дијаграм хабања кочионих папуча

На упоредном дијаграму процентуалног хабања кочионих папуча може се видети похабаност кочионих папуча код којих је драстична промена хабања током спровођења експеримента на задњем левом точку леве папуче, док остале папуче имају приближне вредности хабања.

5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду су приказани резултати путних испитивања добијени током спровођења експеримента утврђивања хабања кочионих елемената на путничком возилу Лада Рива. Испитивање је вршено на следећим кочионим елементима: дисковима, плочицама, добошима и папучама. На сваком од елемената у одређеном временском интервалу, вршено је мерење 5 пута на исти начин, након чега су израчунаване средње аритметичке вредности измерених величина.

Након утврђивања дебљине кочионих елемената, извршено је израчунавање хабања сваког кочионог елемента. После утврђених резултата хабања извршена је упоредна анализа хабања кочионих елемената где су упоредне вредности претстављене преко дијаграма. На основу утврђених вредности хабања може се одредити животни циклус праћених кочионих елемената.

Очигледно је да се сви елементи кочионог система путничког возила Лада Рива хабају у току експлоатације. На њихово хабање утиче велики број фактора као што су: време рада, услови експлоатације, старост возила, режими вожње, услови на путу, стање кочионог система, материјали од којих су израђени итд. Утицај појединих фактора је различит.

Анализа резултата показује да је евидентирано хабање свих елемената кочионог система. На основу системског праћења хабања веће групе возила, тј. њиховог кочионог система могло би да се предвиди животни век елемената кочионог система. Правовремено и адекватно праћење елемената кочионог система, утиче на животни век кочионог система возила, али и на повећање безбедности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] **Танасијевић С.**, Основи трибологије машинских елемената, Научна књига, Београд, 1989.
- [2] **Adebisi A.A.**, Metal matrix composite brake rotor: Historical development and product life cycle analysis, International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, Volume 4, pp. 471-480, Malaysia Pahang, 2011.
- [3] **Тодоровић Ј.**, Кочење моторних возила, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1988.
- [4] **Јанковић Д., Тодоровић Ј.**, Теорија кретања моторних возила, Машински факултет, Београд, 1983.
- [5] <http://www.maxityres.com/services/brakes/>, преузето 01.09.2015.
- [6] **Ленаси Ј., Ристановић Т.**, Мотори и моторна возила, завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 2005.
- [7] http://www.carbibles.com/brake_bible.html, преузето 20.08.2015.
- [8] **Маринковић С., Лаушевић З., Половина М.**, Савремени карбонски материјали, Београд, 1999.
- [9] **Timcal LTD**, Графити и кокс за фрикционе материјале, Каталог – Timrex, Switzerland, 1997.
- [10] **Вулић И.**, Истраживање фрикционих карактеристика уметака диск кочнице за железничка возила од композитних материјала, Магистарски рад, Машински факултет, Ниш, 2004.
- [11] **Лека М.**, Полимерни композитни материјали, Београд, 1985.
- [12] **Дубока Ч., Арсенић Ж.**, Испитивање моторних возила, Приручник, Београд, 1994.
- [13] **Bowden F., Malabar D.**, Friction an introduction to tribology, Florida, 1982.
- [14] **Дубока Ч., Арсенић Ж.**, Tribo – Mutations in tribo mechanical systems, Proceedings Thessaloniki, 1996.

[15] **Mech M. I.**, Facts about friction, Geoffrey Nicholson chartered Engineer, Winchester, 1995.

[16] Каталог деталей и сборочных единиц, Оао avtovaz Togliatti, Russia, 2005.