

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Аутомобилско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Аутомобилско инжењерство

Предмет: Конструкција возила

Број индекса: 303/2014

Јанко С. Ђурђевић

**Кочнице савремених возила - проблем емисије
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Јасна Глишовић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да

- анализира карактеристике материјала елемената фрикционог пара савремених кочница моторних возила,
- истакне утицај продуката хабања кочница на људско здравље,
- размотри утицај емисије продуката хабања кочница на укупну емисију возила,
- анализира важећу законску регулативу у свету, Европи и Србији у области емисије система возила не укључујући емисију мотора,
- наведе европски пројекте и научно-стручне скупове у области емисије продуката хабања кочница
- прикаже експерименталне методе за мерење емисије кочница.

Препоручена литература:

- [1] M. Mosleh, P. J. Blau, D. Dumitrescu, Characteristics and morphology of wear particles from laboratory testing of disk brake materials, Department of Mechanical Engineering, Architecture and Computer Sciences, College of Engineering, Howard University, 2003
- [2] R. Steege, D. Welp, J. Lange, The contribution of brake emissions to the total vehicle emissions, 6th International Munich Chassis Symposium 2015, Proceedings
- [3] P. Eastwood, Particulate Emissions from Vehicles, John Wiley Ltd, England, 2008

Крагујевац, новембар 2016. год.

ментор:

Др Јасна Глишовић, доцент

Садржај

1. Увод	6
2. Материјали елемената фрикционог пара	7
2.1 Основни фрикциони материјали.....	8
2.2 Суви фрикциони материјали	9
2.2.1 Влакнаста решетка.....	10
2.2.2 Стакло	11
2.2.3 Метали	11
2.2.4 Арамид.....	12
2.2.5 Калијум титанат	12
2.2.6 Сепиолит.....	12
2.2.7 Керамика.....	12
2.3 Везивни материјали.....	12
2.3.1 Фенол смола	12
2.3.2 Смола од модификованог силикона	13
2.3.3 Модификована епокси смола	13
2.4 Пунила	13
2.4.1 Неорганска пунила	13
2.4.2 Органска пунила	14
2.5 Фрикциони адитиви	14
2.6 Мазива	15
2.7 Абразиви	15
2.8 Ивичне ознаке (SAE).....	15
2.9 Производња фрикционих материјала у Србији.....	16
3. Утицај продуката хабања кочница на људско здравље	18
3.1 Граничне вредности за респирабилне честице у амбијентном ваздуху	22

3.2 Мониторинг респирабилних честица у Србији.....	24
3.3 Утицај отпадних честица на људско здравље	25
3.4 Загађење од стране отпадних честица.....	26
3.5 Смањење емисије честица.....	27
4. Законске регулативе у области емисије продуката хабања кочних облога у државама Калифорнија и Вашингтон.....	28
5. Европски пројекти и конференције везане за емисију хабања кочница	30
5.1 EuroBrake.....	30
5.2 REBRAKE (50% смањење емисије продуката хабања кочница).....	30
5.3 Lowbrasys пројекат.....	32
5.4 Кобра пројекат (Cobra Project)	34
5.5 UNECE IWG PMP.....	34
6. Стандарди коришћени у експериментима.....	37
6.1 ASTM G99 - 05(2016)-Стандардна тест метода за тестирање хабања на игла на диску апаратури	37
6.2 SAE J2707_201210 – Тест процедура хабања на инерционом динамометру за кочне фриксионе материјале	37
7. Мерење емисије отпадних честица	38
7.1 Израчунавање продуката кочења.....	40
7.2 Мерење помоћу мерача издувних гасова.....	40
8. Резултати експерименталних истраживања	45
8.1 Експеримент 1	45
8.1.1 Резултати	46
8.2 Експеримент 2	48
8.2.1 План теста.....	51
8.2.2 Резултати теста	51
9. Закључак	59
Литература.....	61

Резиме

Циљ овог мастер рада је анализа продуката хабања кочних облога са главним акцентом на проблематику утицаја на људско здравље. Анализирани су и материјали који се користе за израду кочних облога и предочени су њихове мане и предности. У раду су представљени стандардизовани тестови који нам показују величине честица које су продукт хабања кочних облога. Такође су и истакнути актуелни пројекти који се баве смањењем честица проузрокованих кочењем.

Кључне речи: кочне облоге, РМ честице у ваздуху

Abstract

The main objective of this master thesis is the analysis of brake wear particles with the main emphasis on the issue of possible adverse health effects. An analysis of the materials used for the manufacture of brake linings is also performed and presented their pros and cons. The standardized tests that show the size of the particles that are the product of brake lining wear are presented. The current projects relating to the reduction of brake particles emissions are analyzed.

Key words: brake lining, PM-particulate mater

1. Увод

Уређаји за кочење служе за успоравање кретања возила или потпуно заустављање. Кочнице су један од најважнијих уређаја на возилу, битан за сигурност саобраћаја. За сигурност саобраћаја најважнија је радна кочница јер делује на све тачкове непосредно. Диск кочнице су делотворније при наглom кочењу и данас се највише уграђују. При лаганом кочењу ефикасније су добош кочнице. Највећа опасност за сигурност саобраћаја при наглom кочењу је блокирање тачкова јер се при томе губи око 60% силе кочења. Ако су блокирани предњи тачкови, не може се управљати возилом, а при блокирању задњих тачкова возило се заноси. Да би се спречило блокирање тачкова, на возила се уграђују уређаји који ограничавају величину силе кочења на вредност при којој још не настаје блокирање. Уз неколико изузетака, сва путничка возила на предњој осовини имају кочне системе са дисковима. У зависности од оптерећења, на задњој осовини користе се кочни системи или са дисковима или са добошима. Сила возачеве ноге која се преноси са кочне папучице, уз помоћ кочног преносног система, притиска кочну плочицу на кочни диск. Као последица дејства фрикционе силе велики део кинетичке енергије, енергије кретања возила, претвара се у топлоту у веома кратком временском периоду. Механичка и топлотна оптерећења која том приликом настају веома утичу на кочни диск и кочне плочице. Сила кочења која настаје током заустављања возила може, у екстремним случајевима, да постигне вредност која је вишеструко већа од максималне снаге мотора.

Суштински захтеви који се постављају пред кочни систем могу се сажето формулисати на следећи начин:

- постизање што краћег зауставног пута у свим условима експлоатације возила,
- добар комфор кочења (без вибрација, без шкрипања, добар осећај на кочној папучици),
- адекватни век трајања потрошних делова.

Што се тиче кочних дискова и кочних плочица као основних, функционалних елемената у процесу кочења, то значи:

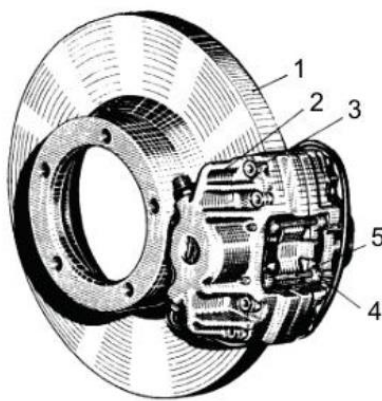
- стабилност вредности коефицијента трења унутар веома широког распона температура,
- мала зависност коефицијента трења у односу на силу притиска између фрикционих елемената, брзину и атмосферске утицаје,
- добра механичка чврстоћа и отпорност на деформације,
- хабање у оквиру прописаних граничних вредности,
- толеранције за саставне делове унутар прописаних граничних вредности,
- адекватно “трошење”, хабање контактних површина: облога кочних плочица и кочних дискова [13].

Кочни дискови и облоге кочних плочица, у свом функционисању, од пресудног су значаја за безбедност. Захтеви који им се постављају могу да се достигну искључиво коришћењем оних компонента које су конструисане управо за дотично возило. Угрожавање личне безбедности, као и губитак комфора приликом кочења и скраћење “века” трајања кочних елемената може се избећи правилним одржавањем [13].

2. Материјали елемената фрикционог пара

Од 1970. год. азбест је означен као канцероген и ако је забрану у Сједињеним Државама уследила тек 1989. године. Сви облици азбеста су канцерогени. Ова забрана је преиначена 1991. год. због жалби да не постоји адекватна замена. Већ постојећи производи од азбеста се користе, док је производња нових производа од азбеста забрањена. Комисија за заштиту здравља и безбедност Комонвелта Аустралије забрану коришћење азбеста је увела 31. децембра 2003. године. Према Удружењу за чистоћу ваздуха и вода у Сједињеним Државама азбест је забрањен 1985. У Европи међутим сваки облик азбеста је забрањен од 1. јануара 2005.

Слика 1 приказује типичне диск кочнице које могу да се пронађу на путничким возилима. Када возач активира кочницу кочна течност притиска кочне клипове у кочним чељустима, који затим преносе притисак преко кочне плочице на кочни диск. Након захтева купаца и стварања јавне свести о штетности азбеста почело је опсежно истраживање да се пронађу одговарајући материјали који ће заменити азбест. Ова истраживања су почела деведесетих година двадесетог века. Многи произвођачи су одустали од примене азбеста како би добили наклоност купаца. Због тога на тржиште су се појавиле разне врсте кочних плочица при чему свака од њих има јединствене карактеристике [1].



Слика 1. Диск кочница са основним елементима: 1 - диск; 2 - чељуст; 3 - стезни вијци; 4 - диск плочице; 5 – осигурачи плочица [1].

2.1 Основни фрикциони материјали

У табели 1 је показана општа подела кочних плочица. Главни захтеви који се постављају пред кочне плочице су:

- а) да имају висок степен трења,
- б) да не дође до распадања кочног материјала при високим температурама,
- с) да има константан коефицијент трења са кочним диском.

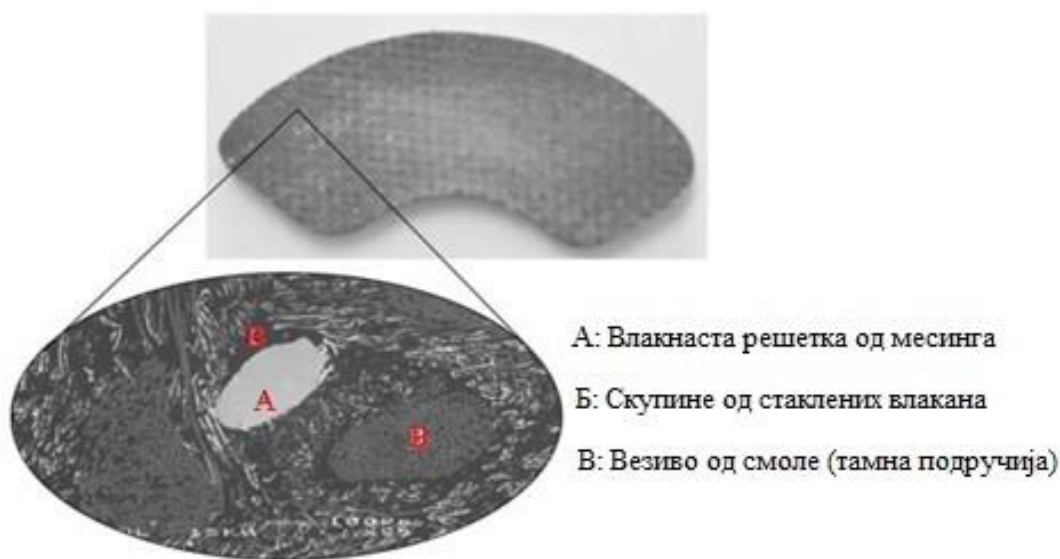
Кочне плочице садрже обично следеће подкомпоненте:

- а) фрикциони абразиви који одређују фрикциона својства кочних облога и мешавина абразива и мазива,
- б) пунила, смањују цену и убрзавају процес прављења кочних облога,
- с) везиво, сједињује различите компоненте,
- д) влакнаста решетка која одржава механичку чврстоћу [1].

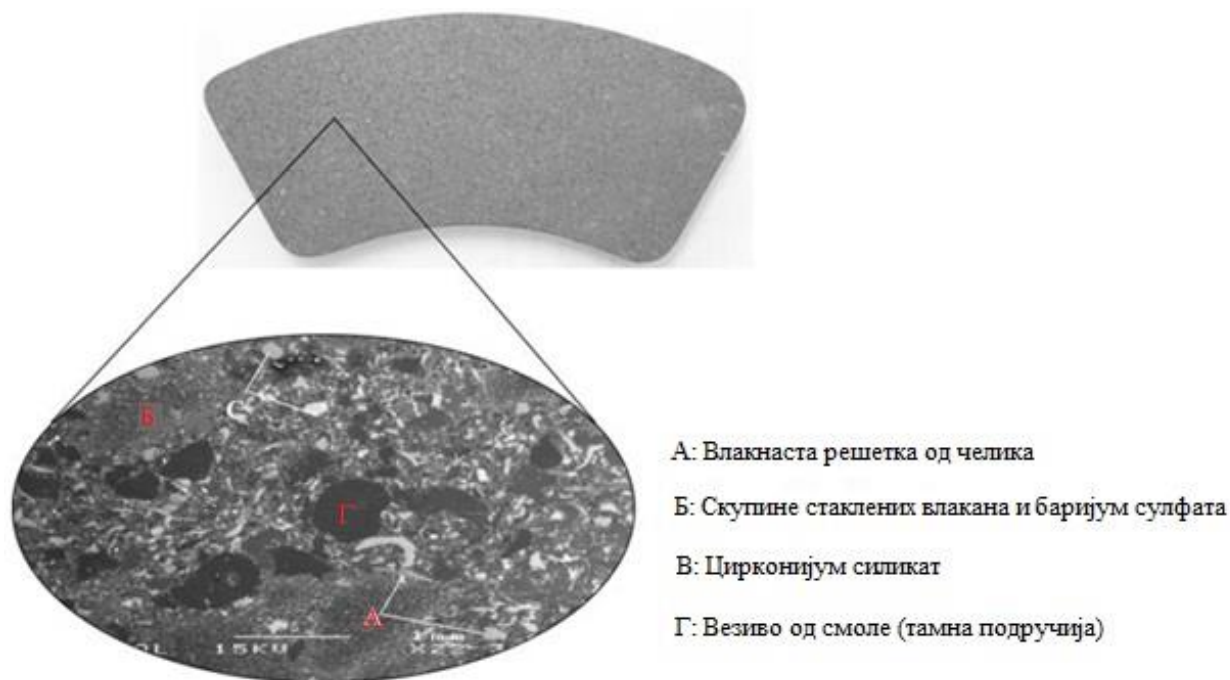
Табела 1. Класификација кочних плочица [1]

Класификација	Састојци
Металне	Претежно металног састава, као што су челична и бакарна влакна
Полу-металне	Мешавина металних и органских састојака
Безазбестне	Претежно органски, као што су минерална влакна, гума, графит итд.

Слике 2 и 3 представљају две различите кочне облоге и снимане су електронским микроскопом. Кочна облога узорка Х је коришћена за лаке мотоцикле, а узорак Y је коришћен код железничких возова и карактерише га висок коефицијент трења [1].



Слика 2. Узорак Х за лаке мотоцикле [1]

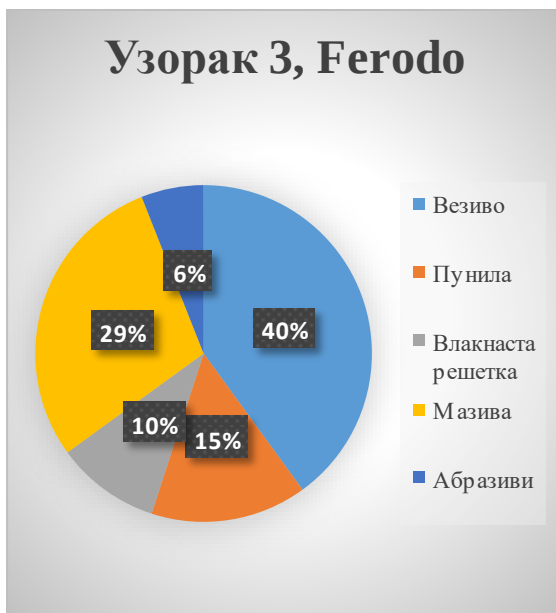
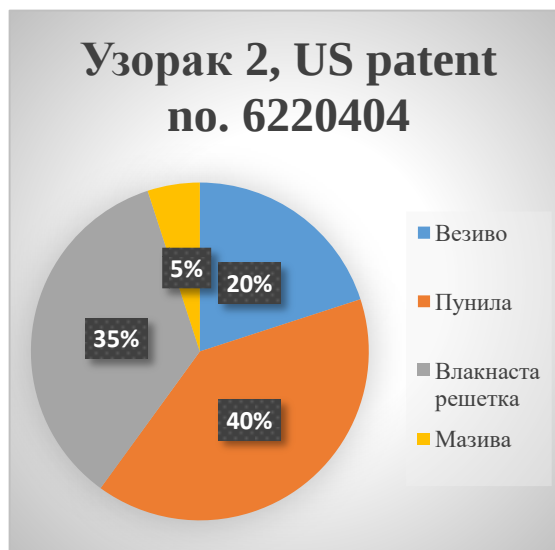
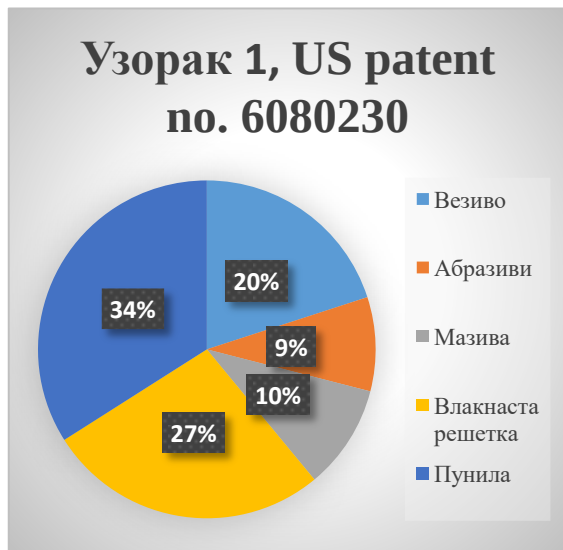


Слика 3. Узорак Y за железничке возове [1]

Може се уочити да узорак X има мекана влакна и направљен је од месинга, а узорак Y има грубље састојке као што су силикат цирконијума и челична влакна. Подаци о детаљном саставу кочних облога су ретки јер произвођачи нису у обавези да га објаве. Састав се може једино видети преко разних академских истраживања или преко патената произвођача. Слика 4 показује да не постоји стандардан састав кочних облога. На истим сликама се може приметити да се састав разликује посебно у одабиру пунила [1].

2.2 Суви фрикциони материјали

Суви фрикциони материјали су материјали који током процеса кочења остају суви. Четири главне компоненте кочних облога су влакнаста решетка, пунила, везиво, адитиви. На следећим дијаграмима (слика 4) су показани састави неких кочних облога [1].



Слика 4. Састав фрикционих облога [1]

2.2.1 Влакнаста решетка

Азбест се користио као ојачавајућа компонента од почетка 1908. год. када је енглески проналазач Херберт Фруд направио комбинацију азбеста, месингане жице и разне смоле које су коришћене као фрикциони материјал. Азбест је јефтин и омогућава фрикциону поставу и одличну термичку издржљивост. Ова особина је кључна током кочења јер се могу постићи температуре од више стотина степени. У каснијим осамдесетим годинама двадесетог века се дошло до сазнања да је азбест канцероген материјал и произвођачи кочних облога су почели да траже адекватну замену.

Сврха влакнастих решетки је да омогуће механичку чврстоћу фрикционог материјала. Истраживања су показала да се кочење врши помоћу малих издигнућа у фрикционом материјалу. Ова издигнућа се формирају од влакнастих решетки које су окружене мекшим материјалом.

Издигнућа се формирају од сабијених остатака и не могу постојати без влакнастих решетки. Према истраживањима Гудманд-Хојера, Баха, Нилсена и Моргена (*Gudmand-Hoyer, Bach, Nielsen и Morgen*) са смањењем тврдоће влакнастих решетки повећава се хабање фрикционог материјала. До оваквог закључка су дошли тако што су испитивали кочне облоге са различитим концентрацијама влакнастих решетки. У табели 2 су показани различити материјали и њихове карактеристике. Из табеле се може видети да је најбоље користити влакнасте решетки од керамике [1].

Табела 2. Састав влакнасте решетки [1]

Компоненте	Предности	Мане
Стакло	Термичка отпорност, (висока тачка топљења 1430 °C, али почиње да губи еластичност на 600 °C)	Крутост
Метал	Термоотпорни челик и бакар имају тачку топљења вишу од 1000 °C	Повећане количине узрокују убрзано хабање кочног диска
Арамид	Добра крутост у односу на тежину, одлична термичка отпорност, отпоран на хабање	Мекан, не може да се користи без додатних влакана
Калијум титанат	Добра термичка отпорност, отпорност на хабање	Опасност по здравље
Сепиолит	Добра термичка отпорност, способност упијања течности	Потенцијална опасност по здравље
Керамика	Добра термичка отпорност, добра крутост у односу на масу	Крутост

2.2.2 Стакло

Стаклена влакна се користе као влакнаста решетка још од средине седамдесетих година 20. века. У комбинацији са везивним материјалом могу да буду добри ојачавајући материјали. Температура топљења стакла је 1430°C што је много више него код азбеста код кога је 800-850°C. Међутим типична стаклена влакна имају проводљивост од 0,04 W/m K, што је ниже од 0,15 W/m K код азбеста. Стакло не може да буде самостална влакнаста решетка због његове кртости [1].

2.2.3 Метали

Метални опилци или грануле се редовно користе као влакнаста решетка. Користе се челик, месинг, бакар. Мана ових материјала је да ће оксидирати временом нарочито ако су ван употребе дуже време или ако се налазе у приобалним областима поред мора. Оксидација ојачавајућих материјала ће смањити њихову функционалност. Због тога се код појединих кочних облога користи цинк који формира аноду како би се на њега прикупљала корозија. Још једна мана метала је да ако га има у повећаној концентрацији

доћи ће до повећаног хабања кочних облога. Са друге стране предност метала је да имају високу проводљивост и могу лако да спроведу топлоту [1].

2.2.4 Арамид

Влакна арамида као што су кевларска влакна су широко распрострањена, али су она другачији тип влакана и релативно су мека. Она су веома лагана влакна и имају добру термичку стабилност. Још једна повољна карактеристика је да имају повећану отпорност на хабање. У комбинацији са овим влакнима се постављају још нека влакна као што су метална због релативно ниске чврстоће.

2.2.5 Калијум титанат

Влакна калијум титаната су још једна врста ојачавајућих влакана. Њихова главна карактеристика је да имају високу тачку топљења (1250 - 1310°C). Међутим калијум титанат може да изазове рак плућа исто као и азбест тако да се не треба користити као замена азбесту. *Hikichi* и *Akebono* индустрија кочница је развила методу коришћења овог састојка у форми праха који се наводно теже може инхалирати.

2.2.6 Сепиолит

Сепиолит је хидрирани силикат магнезијума, минерал који се налази у форми влакна. Задржава микропорозност и влакнасту структуру и на температурама преко 1000°C. Сепиолит има могућност да упије трагове течности између фрикционих површина. Сепиолит је опасан по здравље. Изазива проблеме у дисајним путевима као што је упала плућа. Као и калијум титанат и сепиолит не треба да буде адекватна замена за азбест.

2.2.7 Керамика

Керамичка влакна су релативна новина код кочних облога. Праве се од различитих оксида метала као што је оксид алуминијума, као и од карбида као што је силикон карбид. Са веома великом термичком отпорношћу (тачка топљења је од 1850 - 3000°C), малом масом и високом чврстином, ова влакна су веома погодна за ојачавање. Висока вредност односа остварене чврстоће према маси је разлог зашто се користе више од металних влакана која имају већу масу. Керамика се такође користи за производњу кочних дискова [1].

2.3 Везивни материјали

Основна намена везивних материјала је да одржи структурни интегритет под термичким и механичким оптерећењем. Имају задатак да остале компоненте повежу и спрече њихово одвајање. [1].

2.3.1 Фенол смола

Фенол смола је најзаступљеније пунило код кочних облога. Веома је јефтина за производњу. Код интензивног кочења температуре која се стварају могу да истопе фенол смолу. Фенол смола се топи на 450°C. Приликом топљења ослобађају се испарења која су отровна. Изазивају рак респираторних органа, као и слепило. Друга мана фенол смоле је што је веома крта и при малим ударцима се ломи.

2.3.2 Смола од модификованог силикона

Овај тип смоле се меша са неким ојачивачем како би се спречио лом. Кејн и Моурер (*Kane* и *Mowrer*) су успели да постигну бољу чврстоћу тако што су помешали са силиконом. Силикон у овој структури има и улогу спречавања апсорбовања воде.

2.3.3 Модификована епокси смола

Чиста епокси смола не може да издржи температуре преко 260°C. Како би се ова температура топљења повећала додају се различити адитиви. Компанија Шел (*Shell*) је успела додавањем различитих адитива да ту температуру подигне до 400°C. Епокси смола се користи заједно са фенол смолом како би се повећала температура топљења.

2.4 Пунила

Пунила код кочних облога служе да смање трошкове производње као и да убрзају производњу. Пунила код кочних облога имају широк појам. На пример поједини произвођачи под пунилама подразумевају велике количине металних силиката који спадају у групу абразива. Пунила се деле у две групе, то су органска и неорганска пунила. Пунила нису од критичне важности као што су влакнасте решетке. Избор пунила зависи од осталих компоненти у кочним облогама [1].

2.4.1 Неорганска пунила

Типични пунила су баријум сулфат, калцијум карбонат. Основна карактеристика ових пунила је да имају високу тачку топљења. На пример баријум сулфат има тачку топљења од 1350°C. Један од најчешће коришћених неорганских пунила је баријум сулфат. Побољшава термичке карактеристике кочнице као и на њене фрикционе особине. Калцијум карбонат се сматра као замена за баријум сулфат зато што има сличан коефицијент трења, такође побољшава термичка својства кочне облоге. Јефтинији је од баријум сулфата, али нема термичке карактеристике као исти. Молибденијум триоксид је новији материјал који се користи као пунило. Према Накајима и Кудо (*Nakajima* и *Kudo*), молибденијум триоксид може спречити пуцање материјала при високим температурама. Има релативно високу тачку топљења од око 800°C.

Табела 3. Састав неорганских пунила [1]

Пунила	Опис
Баријум сулфат	Побољшава термичку отпорност, повећава коефицијент трења
Калцијум карбонат	Побољшава термичку отпорност фрикционог материјала
Лискун	Смањује буку, али узрокује раслојавање материјала
Вермикулит	Смањује буку, али има малу термичку отпорност
Алкални метал титанат	Стабилизује фрикциони коефицијент
Молибденијум триоксид	Спречава пуцање материјала под високим температурама
Прашина индијског ораха	Смањује буку, не доприноси кочним карактеристикама
Прашина гуме	Смањује буку, не доприноси кочним карактеристикама

2.4.2 Органска пунила

Прах индијског ораха и гума у форми праха су материјали који се користе као органска пунила. Они се користе за смањење буке приликом кочења. Ове честице, нарочито прашина индијског ораха, се лако скидају са кочних облога што ствара поре у материјалу и самим тим омогућава пуцање материјала. Зато се ове честице облажу одговарајућим адхезивом. Неки произвођачи кочних плочица ове материјале користе као термичку заштиту да топлота не би дошла до позадинске плочице.

2.5 Фрикциони адитиви

Фрикциони адитиви су компоненте које се додају кочним облогама како би побољшали фрикциони коефицијент и смањили хабање облога. Деле се на две категорије: мазива, која смањују коефицијент трења и хабање облога и абразиви који повећавају коефицијент трења. Како им име каже, фрикциони адитиви повећавају фрикциона својства кочних облога. Како би се постигле одговарајуће карактеристике кочења мора постојати одговарајући однос мазива и абразива у облогама. У следећој табели су показани фрикциони адитиви [1].

Табела 4. Састав фрикционих адитива [1]

Фрикциони додаци	Опис
Метални сулфиди	Добра подмазујућа својства, мања проводљивост од графита
Метални оксиди/силикати	Абразиви са тврдоћом од 500 HV до 1200 HV
Графит	Има широку примену, постоји у природној и синтетичкој форми

2.6 Мазива

Главна улога мазива је да стабилизују већ постојећи коефицијент трења током кочења, нарочито при високим температурама. Мазива која се користе су графити и разни метални сулфиди. Графит је у широкој примени. Слој графита омогућава стабилан коефицијент трења. Графит може бити природног или синтетичког порекла и може бити у форми праха или пахуља. Графит у форми пахуља има боља подмазујућа својства, док у форми праха може равномерно да расподели топлоту. Међутим графит се не може користи превише са фенол смолом зато што је веза између графита и фенол смоле веома слаба. У зависности од везива графит ће повећати топлотну проводљивост фрикционог материјала. Превелика концентрација графита би повећала температуру кочне течности. Ако температура кочне течности достигне критичну вредност доћи ће до отказа кочног система [1].

Сулфиди метала као што је антимон су веома популарни код фрикционих материјала зато што могу да обезбеде добро подмазивање и да смање провођење топлоте од графита. Прекомерна употреба металних сулфида неће узроковати прегревање кочница. Сулфид антимоно је популарно мазиво и има тачку топљења од 550°C и повећава порозност фрикционог материјала и смањује укупну еластичност. Према одређеним истраживањима сулфид антимоно има канцерогена својства и уместо њега се препоручује сулфид калаја као боља замена.

2.7 Абразиви

Абразиви у фрикционом материјалу повећавају коефицијент трења, али такође повећавају степен хабања кочних дискова. Фрикциони материјали са повећаном концентрацијом абразивних материјала узрокују нестабилност у току кочења возила. Абразиви морају да буду довољно тврди да бар мало загребу површину кочног диска [1].

2.8 Ивичне ознаке (SAE)

Удружење аутомобилских инжењера (*The Society of Automotive Engineers - SAE*) је развило идентификациони систем за кочне облоге. Ове ознаке се састоје из два слова, она се налазе са стране комерцијалних кочних облога помоћу којих радње и сервиси бирају које ће кочне облоге уградити. Прво слово означава нормални коефицијент трења који је мерен на температурама од 90 °C, 120°C, 150°C 200°C. Друго слово означава топли фрикциони коефицијент и он се испитује на следећим температурама: 230°C, 260°C, 290°C, 315°C, 345°C. Комплетна процедура испитивања означена са **SAE J866a** и према томе су одређени следећи кодови (Табела 5). [17].

Табела 5. Ивичне ознаке [17]

Ознака	Фрикциони коефицијент
C	0,15
D	0,25
E	0,34
F	0,45
G	0,55
H	0,55
Z	/

Последњих година се доводи у питање валидност ових кодова због зависности фрикционих коефицијента од услова рада, као и од материјала од којих је направљена кочна облога. С обзиром на наведене сумње ивичне кодове не треба узимати као једине референтне вредносне карактеристике за кочне облоге.



Слика 5. Пример ивичних ознака на кочним облогама [18].

2.9 Производња фрикционих материјала у Србији

Данас више нема производње азбестних производа у Србији. Производи који садрже азбест увожени су до 2009. године, али од тада, према извештају европског пројекта, то не би требало да буде могуће. У Србији је некада био и највећи рудник азбеста у Европи - рудник Страгари у Шумадији, а други рудник азбеста Корлаће имао је релативно модерно постројење за сепарацију и прераду руде. Оба рудника су престала да раде. Последњи расположиви подаци су за 2005. и 2006. годину, када је произведено 4.080 односно 4.500 тона азбеста. Због тог наслеђа, у Србији азбест и даље може представљати опасност, али не постоје прецизни подаци о угроженим подручјима и размерама проблема, као ни епидемиолошке студије о обољењима које изазива азбест.

Како се наводи у прошлогодишњем извештају, процењује се, на пример, да је између 30% и 70% мреже за снабдевање водом направљено од азбеста. У Шапцу то је 80 од 174 километара, док је у Београду још 350 километара цеви од азбестног цемента. План је да се оне замене у ритму од 60 километара годишње, што значи у року од шест година. Према једној ранијој студији Светске здравствене организације, канцерогени ефекат азбеста унетог орално није доказан, за разлику од удисања азбестне прашине. Србија је званично забранила употребу азбеста у производима 2011. год.

Фабрика *Autocobestproduct* је основана 1935. године у Београду као *JUGOSLAV ASBESTOS AD*, у сарадњи са немачком фирмом *TEODOR BURGMANN Asbest-und Packungswerke, DRESDEN*. На почетку свог оснивања, фабрика је производила заптиваче опште намене, изолационе материјале, азбестне плетенице и траке као и друге сродне изолационе материјале. 1946. године *AZBEST AD* се дислоцира из Београда у Младеновац у новоизграђену фабрику за производњу од 3000 m². Фабрика мења име у *JUGOAZBEST* индустрија азбестних производа, а исте године са 10 радника производи 30 тона готових производа (азбестних плетеница, металопластичних заптивки, терпенинске пасте итд). Од 1975. до 1978. године спроведене су важне инвестиционе активности. Изграђени су нови производни погони са потребном инфраструктуром, савременом и модерном технологијом и опремом. Реализована је сарадња са немачком фирмом *ELRING DICHTUNGSWERKE GmbH, FELLBACH* у производњи заптивних материјала и заптивки, као и са италијанском фирмом *IPERCO SPA, TORINO* у производњи фрикционих (кочних) производа. 1982. године предузеће заокружује своје развојне пројекте. Нова фабрика техничког текстила и *PTFE* (тефлон) производи у сарадњи са *BOSSON Belgium, DU PONT Switzerland* и *ICI England*. Почетком 1998. године поред многих важних иновација и унапређења производње и квалитета производа предузеће добија сертификат *CERTIFIKATE EN ISO 9002, а 2000. год. EN ISO 9001* од сертификационе куће *Rheinisch-Westfälischer TÜV CERT ESSEN*, Немачка. 2000. године са развојем нове генерације производа (безазбестних) и због све строжијих еколошких захтева, предузеће се усмерава на производњу безазбестних производа. Тада и мења своје име *JUGOAZBEST* у *COBEST*. Крајем 2003. године друштвено предузеће *COBEST* се приватизује. 2006. године предузеће остварује велику инвестицију куповином опреме за производњу безазбестних фрикционих производа од партнера из Мађарске. Том инвестицијом је предузеће потпуно спремно да одговори захтевима тржишта за безазбестне производе са одличним односом квалитет цена. 2011. године предузеће мења име у садашње *AUTOCOBESTPRODUCT* [9].

3. Утицај продуката хабања кочница на људско здравље

Загађивачи присутни у амбијентном ваздуху, пре свега респирабилне честице (particulate mater – PM) због свог негативног дејства на људско здравље, скрећу велику пажњу стручњака, регулаторних тела и најшире јавности. Законска регулатива Европске Уније већ дуги низ година, а од 2010. године и српска регулатива прописују мониторинг две фракције честица присутних у ваздуху, мањих од 2,5 μm такозваних финих честица и мањих од 10 μm аеродинамичког пречника, PM₁₀, у чији састав улазе поред финих честица и грубе честице које су из опсега од 2,5-10 μm . Резултати недавно објављене студије спроведене у три европске земље где живи 75 милиона становника Аустрији, Швајцарској и Немачкој, процењују да је изложеност респирабилним честицама одговорна за око 40.000 смртних случајева годишње. Половина броја ових смртних исхода се приписује честицама из саобраћаја, што је једнако броју људи који годишње настрада у Европској Унији у саобраћајним удесима. Процењено је да је у ЕУ током 2000. године дошло до губитака 3,6 милиона живота услед аерозагађења респирабилним честицама. Увођење граничних вредности концентрација полутаната у амбијентном ваздуху, поготову оних који се односе на респирабилне честице, доприноси побољшању здравља популације, што свакако има и позитивне економске ефекте [22].

За успешно управљање аерозагађењем потребна су знања о укупном циклусу везаном за респирабилне честице, укључујући изворе емисије честица, процесе њиховог формирања, њихов састав, распрострањење и судбину у атмосфери, као и изложеност људи, што даље има утицај на здравље.

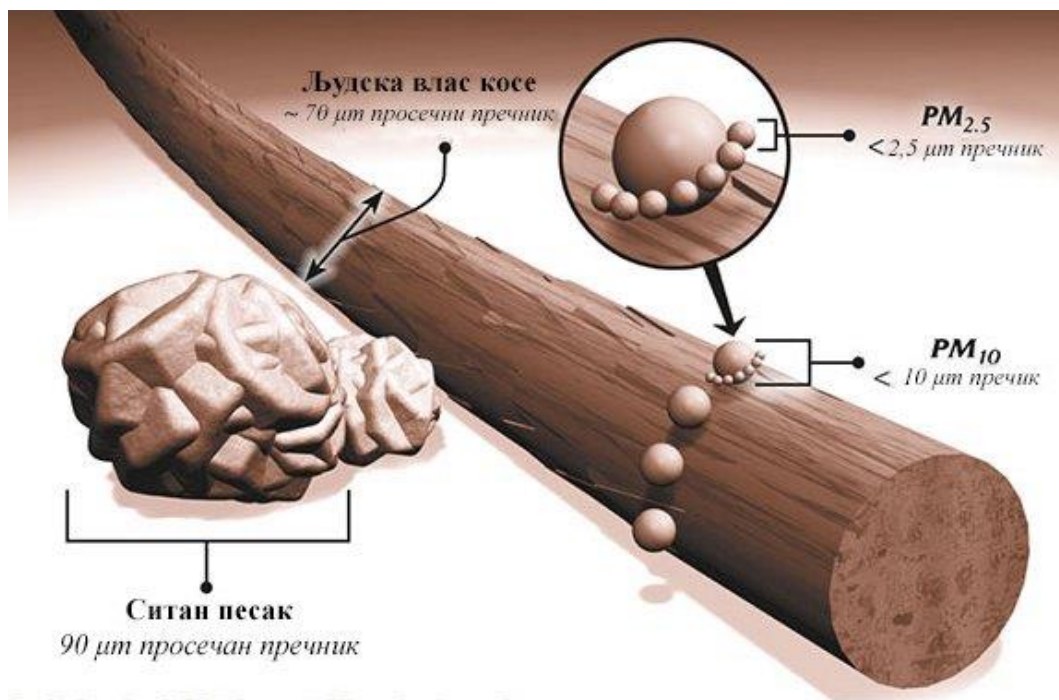
Главни извори респирабилних честица су добро познати. Поред природних извора, најзначајнији извори антропогеног порекла укључују термоелектране и саобраћај. Фине честице и гасови из термоелектрана и саобраћаја, прекоусори респирабилних честица, обично потичу од процеса сагоревања. У урбаним срединама, друмски саобраћај је означен као највећи извор аерозагађења. Прекогранични транспорт из суседних региона и других држава такође значајно доприноси нивоу респирабилних честица у амбијенталном ваздуху.

Респирабилне честице у атмосфери нису ни у физичком ни у хемиској погледу хомогене. С тога је важно знати колика је њихова количина и које су њихове физичке особине и хемијски састав. Тако, на пример, да би се одредило порекло честица потребно је имати податке о количини елементарног и органског угљеника, оксида силицијума, алуминијума и гвожђа, трагова метала, сулфата, нитрита и амонијака, а посебно токсичних материја као што је, на пример, олово (које код нас потиче још увек и из „оловног“ бензина мада је са његова производња код нас прекинута августа 2010. године) и друге канцерогене супстанце.

Респирабилне честице карактеришу бројне особине укључујући величину, густину, облик и састав. Опште посматрано, утицај на здравље људи, ефекти на животну околину и судбина честица зависе од њихове величине. Што су честице мање могу допрети даље од извора емисије с једне стране, а с друге стране такве честице имају особину да дубље и ефикасније продиру у плућа човека.

Састав честица је битан јер од њега зависи и величина, густина, испарљивост, реактивност и што је од посебне важности токсичност. Честице присутне у атмосфери су димензија од око 0,002 до 100 микрона (μm). Ове највеће се не задржавају суспендоване у атмосфери дуго времена, већ се брзо таложе – за свега 4 до 8 сати. У опсег укупних суспендованих честица (*total suspended particles – TSP*) спадају све оне које су мање од 40 μm . Честице које су најважније са гледишта атмосферске хемије, физике и здравствених ефеката су честице у опсегу 0,002 до 10 μm и класификују се као:

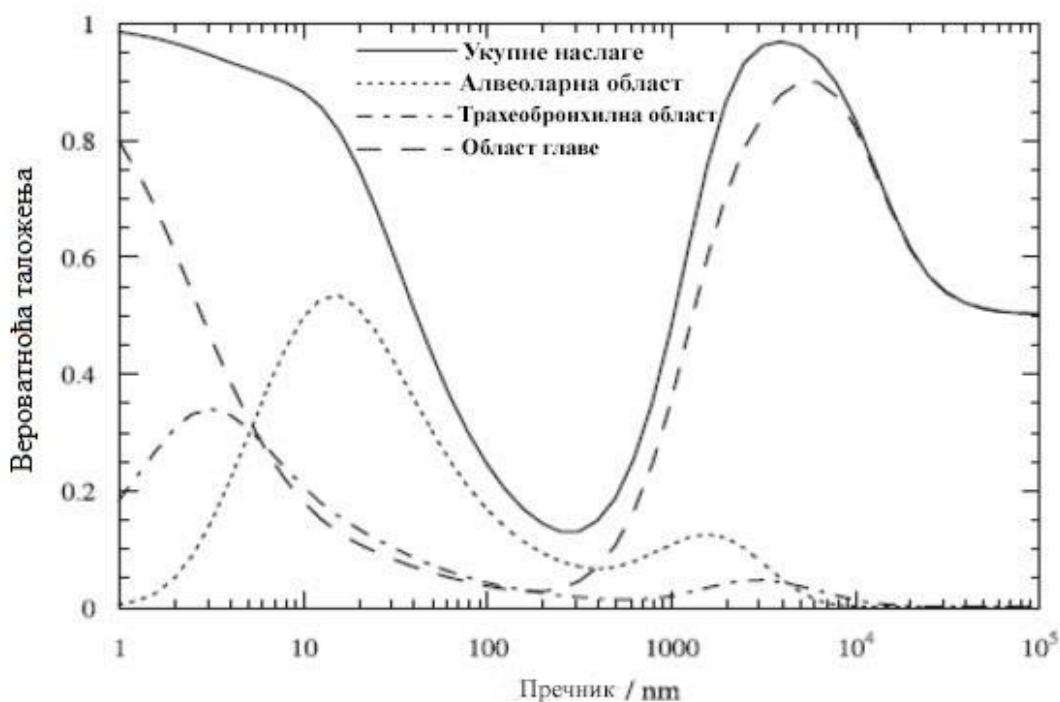
- $\text{PM}_{10-2.5}$ - грубе честице = инхалабилне честице, фракције између 2,5 и 10 μm
- $\text{PM}_{2.5-0.1}$ - fine честице фракције између 2,5 и 0,1 μm
- $\text{PM}_{0.1}$ - ултафине честице, све честице $\leq 0,1 \mu\text{m}$ [22].



Слика 6. Просечна величина честица

99% честица суспендованих у ваздуху које се удахну се елиминирају из организма моментално током издаха јер се углавном задрже у горњим деловима респираторног тракта. Преосталих 1% честица се задржава у организму, долазе до душника и даље све до плућа. Честицама које су опасне по дисајне органе човека сматрају се оне које су мање од 10 μm . Тако мале честице имају тенденцију и да се у депонују у алвеолама. Који део

удахнутих честица ће остати у респираторном тракту и дубина до које ће продрићи пре него се депонују зависи од њихове величина као најзначајнијег фактора који одређује опасност од удисања честица, што је приказано на Слици 7. Уколико доспеју до плућа честице успоравају размену кисеоника и угљен диоксида, скраћујући дах. То доводи до већег напрезања срца, које у условима повећаног напора како би компензовао смањени унос кисеоника. Обично, људи који су најосетљивији на овакве отежане услова оболевају од респираторних болести као што су емпизем, бронхитис, астма и срчани проблеми. Честице као и материје у виду течности и гасова које се уносе заједно са честицама на којима се адсорбују, ако се удахну, а отровне су, могу допринети и оштећењу органа као, на пример, бубрега и јетре.

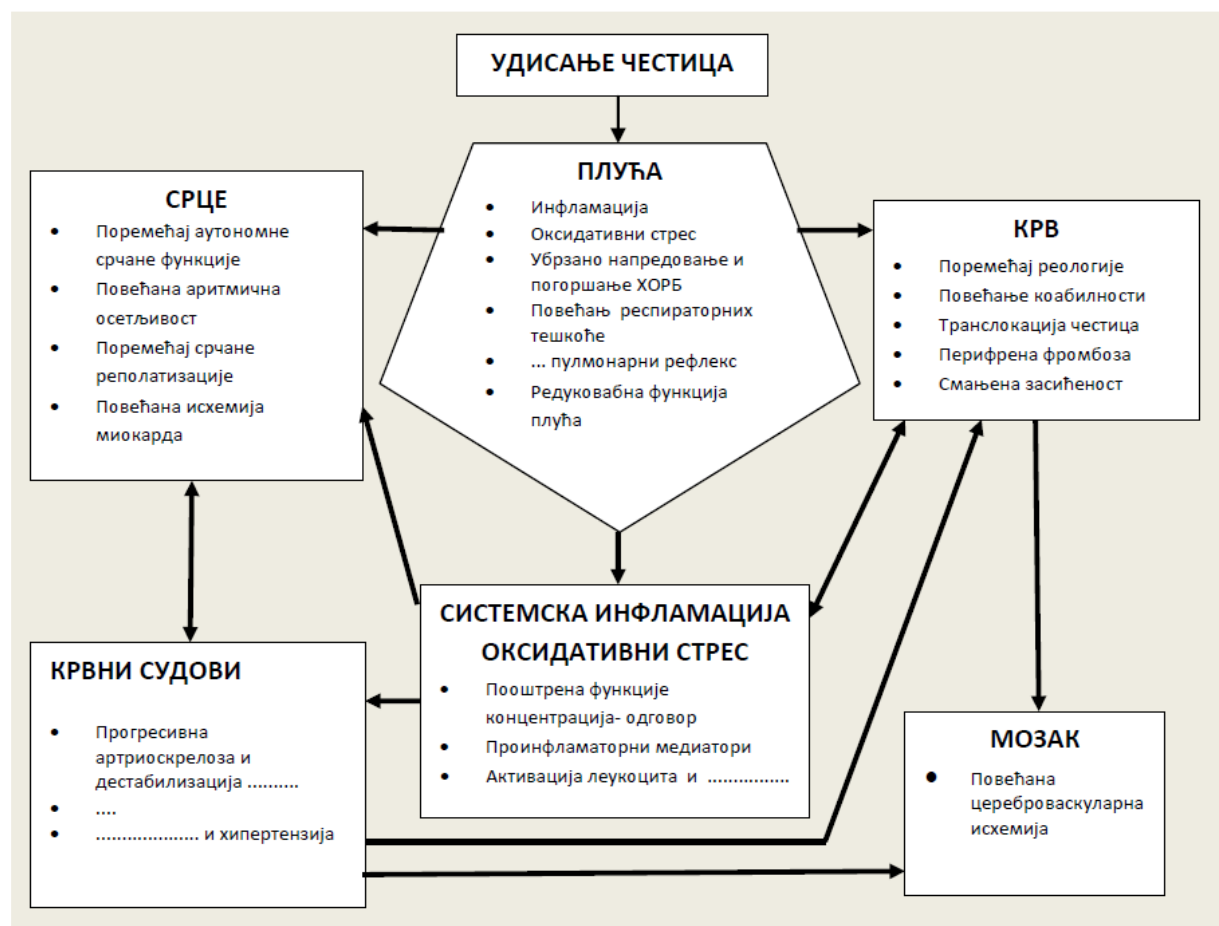


Слика 7. Модел вероватноће депоновања честица у појединим деловима и укупно у респираторном тракту (10000 nm = 10 μ m, 1000 nm = 1 μ m, 100 nm = 0,1 μ m) [22]

Сматра се да квалитет ваздуха у урбаним срединама има већи утицај на здравље становништва него остали фактори животне средине, а да загађивачи амбијентног ваздуха представљају један од најзначајнијих узрока здравствених проблема уопште. Према подацима Светске Здравствене Организације (2003) у свету се годишње услед аерозагађења догоди преко 2,7 милиона смртних случајева. Многи од штетних здравствених ефеката потиче од повећане концентрације честица које из амбијентног ваздуха доспевају удисањем у организам. На слици 8 приказан је модел могућих патофизиолошких путева, повезаности изложености респирабилним честицама и кардиопулмонарног морбидитета и морталитета. Бројне епидемиолошке студије недвосмислено су показале да је аерозагађење у виду респирабилних честица повезано са:

повећањем морбидитета и морталитета од респираторних и кардиоваскуларних обољења, повећањем последица од ембриотоксичности, а већа је и вероватноћа да се појави рак плућа.

Код дуготрајне изложености финим честицама спроведене студије у САД су показале да пораст концентрације PM2.5 за 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ резултује са 6% повећања свих врста здравствених ризика, 9% кардиопулмонарних ризика и са 14% повећања ризика од рака плућа. Резултати студија у Европи су потврдили истраживања раније спроведена у САД да је аерозагађење пореклом од друмског саобраћаја, укључујући РМ један од највећих проблема везаних за аерозагађење амбијентног ваздуха. Епидемиолошке студије о односу између дуготрајне изложености респирабилним честицама и морталитету у Европи поготову за фракцију финих честица, PM2.5, су још увек малобројне. Потребно је располагати са више научно заснованих доказа о вези између здравствених ефеката дуготрајне и краткотрајне изложености концентрацијама PM2.5 у европским градовима. Овакви подаци би послужили као основа за ревизију захтева и за граничне вредности, средњу годишњу и за средњу дневну концентрацију PM2.5 које треба да буду на снази у ЕУ почев од 2020 [22].



Слика 8. Општи могући патофизиолошки путеви повезаности изложености репирабилним честицама и кардиопулмонарног морбидитета и морталитета [22]

3.1 Граничне вредности за респирабилне честице у амбијентном ваздуху

Светска Здравствена Организација (СЗО) анализирајући објављене студије је дала препоручене вредности за фракције респирабилних честица, PM_{10} и $PM_{2.5}$ и то за средње годишње и за средње дневне концентрације. Поред тога СЗО је предложила и три прелазне циљане (ИТ - interim targets) вредности за које се очекује да се могу постигнути уз примену одговарајућих све ригорознијих али одрживих мера, Табеле 6 и 7.

Табела 6. СЗО средње годишње препоручене и прелазне циљане вредности за респирабилне честице

Средња годишња вредност	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	Основа за изабрани ниво
СЗО прелазна циљна вредност 1 (ИТ-1)	70	35	Процењена је да дуготрајна изложеност овим концентрацијама повезана са 15% већим морталитетом у односу на препоручени ниво
СЗО прелазна циљна вредност 2 (ИТ-2)	50	25	Поред осталих здравствених погодности, ови нивои смањују ризик од смртности од отприлике још 6% (2-11%) у поређењу са ИТ-1 вредности
СЗО прелазна циљна вредност 3 (ИТ-3)	30	15	Поред осталих здравствених погодности, ови нивои смањују ризик од смртности од отприлике још 6% (2-11%) у поређењу са ИТ-2 вредности
СЗО препоручена вредност (AQG)	20	10	Ово је најнижи ниво на коме укупни кардиопулманорни и морталитет услед канцера плућа показали пораст са сугурношћу већом од 95% у студији Америчког удружења за рак. Препоручује се примена за вредност за $PM_{2.5}$.

Табела 7. СЗО средње дневне препоручене вредности и прелазне циљане граничне вредности за респирабилне честице

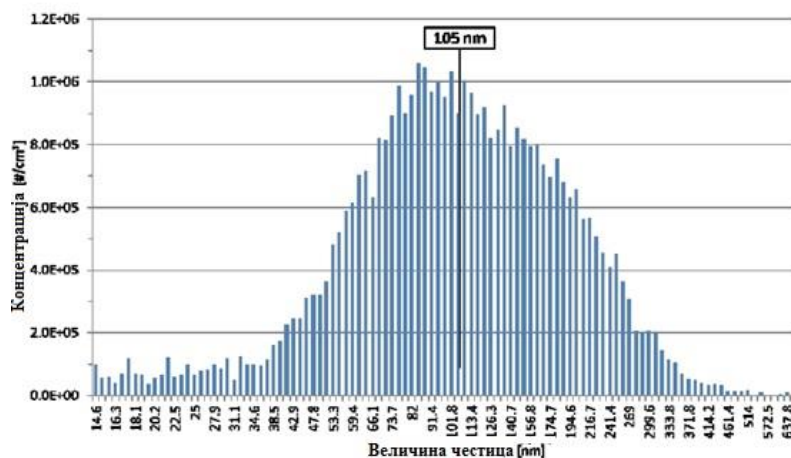
24h-средња вредност	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Основа за изабрани ниво
СЗО прелазна циљна вредност 1 (ИТ-1)	150	75	Базирано на објављеним коефицијентима ризика у више студија и мета анализа (5% пораста морталитета при краткотрајној изложености преко препоручене вредности)
СЗО прелазна циљна вредност 2 (ИТ-2)	100	50	Базирано на објављеним коефицијентима ризика у више студија и мета анализа (око 2,5% пораста морталитета при краткотрајној изложености преко препоручене вредности)
СЗО прелазна циљна вредност 3 (ИТ-3)	75	37,5	Базирано на пораст од око 1,2% морталитета при краткотрајној изложености преко препоручене вредности
СЗО препоручена вредност (AQG)	50	25	Базирана на односу између 24-часовне и годишње вредности

У земљама ЕУ масена концентрација фракција респирабилних, грубих и финих честица, PM_{10} , се прати у оквиру редовног мониторинга (*Council Directive 1999/30/EC*, 1999; *Council Directive 2008/50/EC*). Важећа регулатива у ЕУ прописује средњу дневну вредност за PM_{10} од $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ која не сме бити прекорачена више од 35 дана годишње, а до 2010. се захтева побољшање квалитета ваздуха јер прекорачења не сме бити више од 7 дана годишње. Дозвољена средња годишња вредност за PM_{10} је $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, али у документима које прате Оквирну и „Ћерке директиве“, се не наводи да би средња годишња вредност требало да се током времена смањује. Анекс XIV нове директиве (*Council Directive 2008/50/EC*) прописује мониторинг честица од 2.5 микрона ($\text{PM}_{2.5}$) и регулише га двостепено. У првом кораку прописана је средња годишња гранична вредност $\text{PM}_{2.5}$ од $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ почев од 1.1.2015., да би у другом степену по предлогу који је за сада на снази, али који може да буде и измењен, од 1.1.2020. концентрација $\text{PM}_{2.5}$ би била лимитирана на годишњем нивоу од $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Успостављању мониторинга и граничних вредности у ЕУ за $\text{PM}_{2.5}$ су претходиле интензивне припреме које су омогућиле стандардизацију процедура за мониторинг фракције финих честица (EN, 2005). Бројне научне институције у ЕУ интензивно раде на већем броју истраживачких пројеката где мере фракцију финих честица и утврђују њихов елементарни састав, односно прате трендове. Већина земаља из нашег окружења већ је ускладила своју законску регулативу са ЕУ и одавно је успоставила адекватне мониторинг мреже за праћење аерозагађења укључујући мониторинг PM_{10} , а последњих година и $\text{PM}_{2.5}$.

Мада је ризик од изложености и здравствених ефеката већи што су честице мање граничне вредности за фракције честица мање од 2.5 микрона не постоје. У земљама широм света су објављене или су у току бројне истраживачке студије о концентрацијама, дневним и годишњим варијацијама ултра финих честица.

3.2 Мониторинг респирабилних честица у Србији

У Републици Србији је усвојен Закон о заштити ваздуха 2009. (Службени гласник, 2009) а Уредба о мониторингу и условима за квалитета ваздуха 2010. (Службени гласник, 2010) што је омогућило хармонизацију домаће са важећом ЕУ регулативом у области мониторинга и управљања квалитетом ваздуха. Уместо укупних суспендованих честица, Закон и Уредба уводе мониторинг PM_{10} , и анализу тешких метала и бензо(а)пирена из прикупљених узорак, а прирема се терен и за увођење мониторинг $PM_{2.5}$ када то буде ступило на снагу и у земљама ЕУ. Подаци о аерозагађењу у Србији се реферишу Европској Агенцији за животну средњу која се спроводи у оквиру пројекта *AirBASE* почев од 2003., али подаци о респирабилним честицама су још увек сиромашни и своде се на податке о PM_{10} са аутоматских мерних станица у Београду. Разлог оваквом стању је да је мониторинг респирабилних честица у осталим градовима успостављен тек у последњих неколико година. Поред урбаних подручја, респирабилне честице је неопходно пратити и на местима у руралним срединама, што код нас још увек није успостављено. Према експерименталним подацима добијеним од произвођача, као на основу других истраживања, количина отпадних честица у ваздуху које се стварају од хабања кочних облога може достићи 15-31 mg/km за путничка возила (мање за челичне кочне облоге), 66-90 mg/km за камионе и више од 100 mg/km за аутобусе у урбаним подручјима. Према истраживању Института за енергију и транспорт европске комисије PM_{10} честице (честице мање од 10 μm) имају емисију од 8,8 mg/km, а $PM_{2.5}$ имају емисију 5,5 mg/km за путничка возила. Као референтна тачка за поређење, еуро 5 и 6 мотори имају 5 mg/km емисије за PM_{10} честице за издувне гасове. Стога постоји начин да се смањи загађење ваздуха смањењем емисије кочница [4].



Слика 9. Расподела по величини отпадних честица од кочних облога [4]

Европска унија је једини регион где се примењује регулатива РМ емисије за возила. Развој кочних облога које имају малу емисију је ургентно. Овај развој подржава и истраживање утицаја отпадних честица на људско здравље. Тренутне и будуће регулативе могу да подстакну развој кочних облога [4].

3.3 Утицај отпадних честица на људско здравље

Удахнуте честице РМ се складиште у носу, грлу и изазивају иритације, док fine и ултраfine честице могу продрићи дубоко до плућа, изазивајући упале, стварање слободних радикала у телу и оштећења ДНК. Неколико случајева је показало да се наночестице могу пренети крвљу до других органа, као што су: јетра, бубрези и мозак. Наночестице улазе у људско тело преко коже, плућа и гастро-интестиналног тракта.

PM_{2.5} честице због малих димензија могу да продру до плућа и васкуларног дела, и тако дођу до крви. Наночестице образују велику површину и то их чини више токсичним и на тај начин имају већи здравствени утицај на људе. Метали који су присутни у кочним облогама, као што су: гвожђе, бакар, манган... могу изазвати оштећење плућа. Кочне облоге имају сложен хемијски састав који варира у зависности од произвођача и намене кочница. Бакар и антимон се сматрају кључним отпадним честицама. Разна испитивања су спроведена на ову тему у Немачкој и Холандији у саобраћајним условима и закључак је да су највећи загађивачи: бакар, кадмијум, никл, олово, антимон, цинк. Повећана концентрација антимоно у ваздуху које су пријавили истраживачи у Токију, Америци, Немачкој, Аргентини и скандинавским земљама. Могући узрок овог повећања су кочне облоге које садрже Sb₂S₃ као чврсто мазиво, како би смањили хабање фриксионог материјала. Једињење Sb₂S₃ може да пређе у Sb₂O₃. Реакције које се стварају услед трења, односно загревања кочница, претварају ово мазиво у канцерогену материју [6].

Антимон изазива респираторне проблеме, као што су пнеумокониоза (смањење капацитета плућа), хронични бронхитис и хронични емфизем. Агенција за заштиту животне средине у САД није прогласила антимон као канцероген [6].



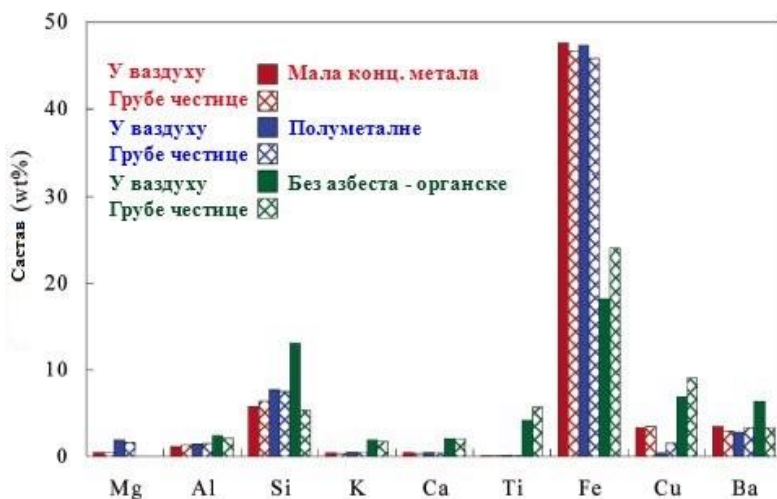
Слика 10. Изглед плућа оболелог од пнеумокониоза (десно) [19]

Бакар такође утиче на респираторне органе, као и на јетру и бубреге. Акутно тровање багром може изазвати оштећење јетре, хемолитичку анемију, вртоглавицу, повраћање, дијареју, тахикардију, респираторне проблеме, оштећење јетре и бубрега, чак и смрт [6].

3.4 Загађење од стране отпадних честица

Како би заштитили људско здравље донешени су разни закони који ограничавају неколико ваздушних загађивача. Ти закони се више односе на загађење издуним гасовима из мотора. РМ честице од несагорелих честица такође утиче на квалитет ваздуха. Честице које се стварају услед хабања кочних облога утичу на људско здравље на два начина, а то се односи на њихову величину и концентрацију у ваздуху, али и на хемијски састав. Данас се фриксиони кочни материјали састоје од абразива, фриксионих модификатора, пуниоца, влакнастих решетки и везивних материјала. Концентрација адитива драстично утиче на триболошке особине кочних материјала. Како материјали постају комплексни то су и честице које се стварају током процеса кочења, комплексне. Ослобађање честица највише зависи од начина вожње и учесталости кочења.

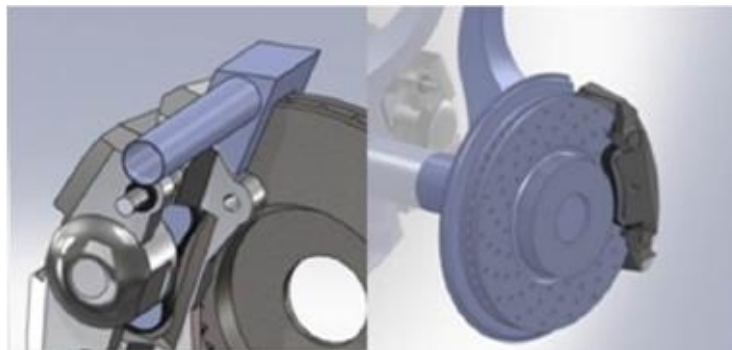
Детаљна анализа отпадних честица је спроведена на кочним облогама са малом концентрацијом метала од стране *Kukuchova* и примећено је да величина честица варира у зависности од температуре кочних облога. Кад се температуре приближавају 300°C, честице постају веће. Анализом честица детектовани елементи су следећи: гвожђе, бакар, антимон, цинк и сумпор. На слици 11 можемо да видимо састав различитих типова кочних облога [6].



Слика 11. Анализа саставних елемената отпадних честица од различитих састава кочних материјала. Укључене су честице кочног диска и кочних облога [6]

3.5 Смањење емисије честица

Знајући шта све утиче на емисију честица и како измерити исту, могуће је систематски тражити начин за смањење емисије честица. Ово може да се спроведе на два начина: променом формулације кочних облога и променом физичких карактеристика кочних облога тако да се смањи њихов утицај на здравље. Један могући начин смањења емисије честица је конструкцијом колектора честица, који је показан на слици 12. Овакав приступ смањења честица је испитиван на тест столу на Техничком Универзитету Птенау (*TU Ptenau*). Као што је познато fine ситне честице имају тенденцију да се крећу у ваздушној струји тако да је потребно уградити додатну цев и дифузоре како би усмерили честице у филтер. Истраживања у лабораторији су показала да је дошло до значајног смањења честица изван наплатака [4].



Слика 12. Колектор кочних честица [4]

Други начин смањења је додатна обрада кочног диска која ће смањити количину најситнијих честица. Једно објашњење је да се честице сакупљају унутар наплатка. Када наплатци ротирају изван кочних чељустуи накупљене честице са већом масом се пребацују унутар наплатка. Ово не решава проблем али смањује емитовање честица и чини их мање штетним [4].



Слика 13. Наплатак лево је са обрађеним диском а наплатак десно је са стандардним диском [4]

4.Законске регулативе у области емисије продуката хабања кочних облога у државама Калифорнија и Вашингтон

27. септембра 2010. године Гувернер Шварценегер је потписао закон 346 (*State Bill 346*) који забрањује продају аутомобилских кочних облога у држави Калифорнија које садрже трагове бакра, тешких метала и азбеста. Сврха овог закона је да се смањи концентрација бакра у водотоковима у Калифорнији [16].

Овај закон забрањује кочне облоге које садрже трагове тешких метала и азбеста у 2014. години и такође забрањује садржај бакра више од 5% од 2021. До 2025. садржај бакра се смањује близу нуле. Бакар је отрован за водени свет и смањивањем бакра се поштује закон о чистоћи вода.

Овај закон приморава произвођаче да испитују своје производе у лабораторијама и на основу тога обележавају своје производе. Вашингтонско министарство задужено за екологију и удружење аутомобилских инжењера (SAE) су развили начин тестирања и обележавања кочних облога које поштују низ забрана које су показане у наредној табели 8. Држава Вашингтон је издала овакав закон раније у 2010. години и усвојила регулативу 19. октобра 2012. године. С обзиром да овај закон није имплементиран ове информације треба схватити да су информативног карактера [15].

Табела 8. Преглед забрана по нивоима [15]

Датум забране	SAE ознаке	Опис забрана
На или после 1 Јануара, 2014.	A	Повећана коценцентрација кадмијума за 0,1% , Хромијум (VI) повећање концентрације за 0,1% Олово повећање концентрације за 0,1% Жива повећање концентрације за 0,1% Азбестна влакна повећање за 0,1%
На или после 1 Јануара, 2021.	B	Забрањује продају кочних плочица које премашују концентрацију бакра од 5%. Овај симбол такође означава да кочна плочица подржава стандард А
На или после 1 јануара 2025.	N	Забрањује продају кочних плочица које премашују концентрацију бакра од 0,5%. Овај симбол такође означава да кочна плочица подржава стандард А

Савет произвођача се сложило да се за ознаку узме лист како би се купци информисали који ниво стандарда испуњавају одређене кочне облоге [16].

	Ниво А: Ограничава концентрацију азбеста, кадмијума, хромпијума, олова и живе
	Ниво Б: Укључује рестрикције нивоа А и концентрација бакра мора да буде мања од 5 %
	Ниво Н: Укључује рестрикције нивоа А и концентрација бакра мора да буде мања од 0,5%

Слика 14. Нивои и ознаке ограничења [16]

Мана оваквог стандарда је да ће кочне облоге које су означене са нивоом А коштати мање од оних са нивоом Н тако да је примена оваквог закона првенствено на савести и новчанику купца.

5. Европски пројекти и конференције везане за емисију хабања кочница

5.1 EuroBrake

EuroBrake је највећа светска конференција и изложба посвећена технологији кочница. Основана је 2012. године како би се продубиле промене у захтевима корисника индустрије кочних система и да би се обезбедио форум за компаније и инжењере који раде у области кочних технологија да поделе идеје и искуства [7].



Slika 15. Официјални лого EuroBrake конференције [7]

2017. години EuroBrake конференција ће бити одржана у Дрездену, Немачка. EuroBrake је највећа конференција које се бави кочницама и привлачи инжењере, научнике истраживачких центара широм света, као и руководиоце из индустрије кочница за путничка возила, као и комерцијална возила, железницу и авио индустрију.

5.2 REBRAKE (50% смањење емисије продуката хабања кочница)

Честице, познате и под именом *particulate matter* (PM), су fine честице или чађ. Честице се често класификује према њиховој величини, тј. PM_{10} , $PM_{2.5}$ и $PM_{0.1}$ за честица са аеродинамичким пречником D мањим од, редом $10\ \mu m$, $2,5\ \mu m$ и $0,1\ \mu m$. PM представљају опасност за људско здравље. Веома грубе честице ($D > 10\ \mu m$) се најчешће филтрирају у носу и грлу преко набора, длачица и слузи. Грубе честице ($2,5\ \mu m < D < 10\ \mu m$) могу да се наталоже у бронхије и плућа. Fine честице ($0,1\ \mu m < D < 2,5\ \mu m$) могу лако да продру у регионе плућа где се врши размена гасова и они могу изазвати васкуларне упале, повезане болести и евентуално рак плућа. Ултраfine честице ($D < 0,1\ \mu m$) или нано-честице могу бити још опасније, јер оне могу доспети у унутрашњу структуру ткива и органа и делују као полазна места за настанак рака и дегенеративних патологија. Упркос томе што је

емисија $PM_{2.5}$ и PM_{10} смањена за 16% и 21% између 1999. и 2009. године, PM границе су широко превазилажене широм подручја ЕУ, а то је сасвим обесхрабрујући резултат. Док се издувни гасови у друмском саобраћају прате и предмет су европских директива, мање се зна о пореклу честица из хабања нпр. кочница и пнеуматика. Недавна студија за град Лондон која се односи на 2011. и 2015. годину у погледу PM емисија, процењује доследан пораст PM емисије продуката хабања (кочнице и пнеуматике) у односу на укупну PM емисију: од 35% до 47% за PM_{10} и од 40% до 55% за $PM_{2.5}$.

Двоструки циљеви REBRAKE ПРОЈЕКТА су да доносе дубље разумевање физичких и хемијских појава које леже у основи процеса хабања кочница, укључујући дубље разумевање и анализу карактеристика грубих, финих и ултра-финих честица (UFP), а са друге смањење од најмање 50% емисије честица (PM_{10}) из хабања кочница, у складу са ЕУ2020 тематском стратегијом смањења емисије честица за 47% до 2020. године.

Пројекат REBRAKE је дефинисан у четири фазе. У првој фази пројекта, експериментални тестови кочница се састоје у формирању експерименталних испитивања и изради методологије прикупљања PM . У другој фази, прикупљене честице, од конвенционалних и новоразвијених материјала, се хемијски и морфолошки карактеришу и пореде са резултатима из литературе у погледу утицаја на људско здравље. У трећој фази пројекта механизма хабања се моделирају и тражи се корелација са стварним параметрима кочног система и састојцима испитиваних облога. У четвртој фази, нови кочни системи ће бити пројектовани, како би се смањила емисије PM за 50%. У овом процесу као улази се узимају у обзир резултати из различитих фаза пројекта.

Неколико циљеви су у складу са тим постављени у зависности од различитих техничких радних пакета (WPs) у које је пројекат Rebrake подељен, наиме WP2) тестирање хабања; WP3) компјутерско моделирање и симулација; WP4) анализа прикупљених честица и путева хабања; WP5) развој склопа плочица/диск. Оперативни циљ за WP2 је утврђивање трења, хабања и параметара честица за диск кочнице на различитим врстама тестова. Оперативни циљ за WP3 је развој нових софтверских алата за нумеричко симулирање емисија честица на микроскопском нивоу и на макроскопском нивоу. Оперативни циљ за WP4 је истраживање морфологије и хемијског састава емисије честица, и идентификација доминантног механизма хабања. Оперативни циљ за WP5 је израда и дизајн нових материјали за облагање плочица, диска и различитих материјала дискова.

У прве две године пројекта, први циљ је остварити "Дефинисање теста хабања" који укључује избор референтног представника просечног европског аутомобила. Даље, индустријски динамометарски инерциони сто је усавршен како би се остварио циљ "Реализација теста хабања на индустријском динамометру опремљеном као КТН лабораторијски апарат за хабање" и да би могли да прикупе честице на објективан начин на нивоу система. Циљ "Мерење величине, процена количине и прикупљање емитованих честица" је делимично остварена. Игла-на-диску тест сто се користи за проверу и рангирање различитих материјала плочица. У оба ова теста сакупљене честице су узорковане каскадним импактором: овај инструмент омогућава мерења у реалном времену расподеле величине честица у 14 области величине (од 6 nm до 10 μm). Технологија

импактора омогућава да се прикупе честице на филтерима у различитим фазама величине и да спроведе хемијска анализа узорака честица. Први евалуација емитованих честица је урађена, али се о најбољој методологији за тумачење података и даље расправља.

У међувремену циљ симулације "Развијање побољшаних модела хабања и емисије честица који описују различите врсте механизма хабања који су укључени и имплементирају модел у различите софтверске алате намењене за симулацију емисије хабања и честица из диск кочница" је делимично постигнут применом модела трења, хабања и емисије честица на основу података који се налазе у литератури коришћењем постојећег *Cellular Automaton* приступа. Симулациони приступ је додатно унапређен тако да се укључује хабање диска, као и температуру. Модели коначним елементима игла на диску трибометра су развијени да се симулира расподела температуре у систему услед загревања трењем у фрикционом контакту. Поред тога, спроведена је структурна анализа у циљу симулације контактеног притиска и хабања.

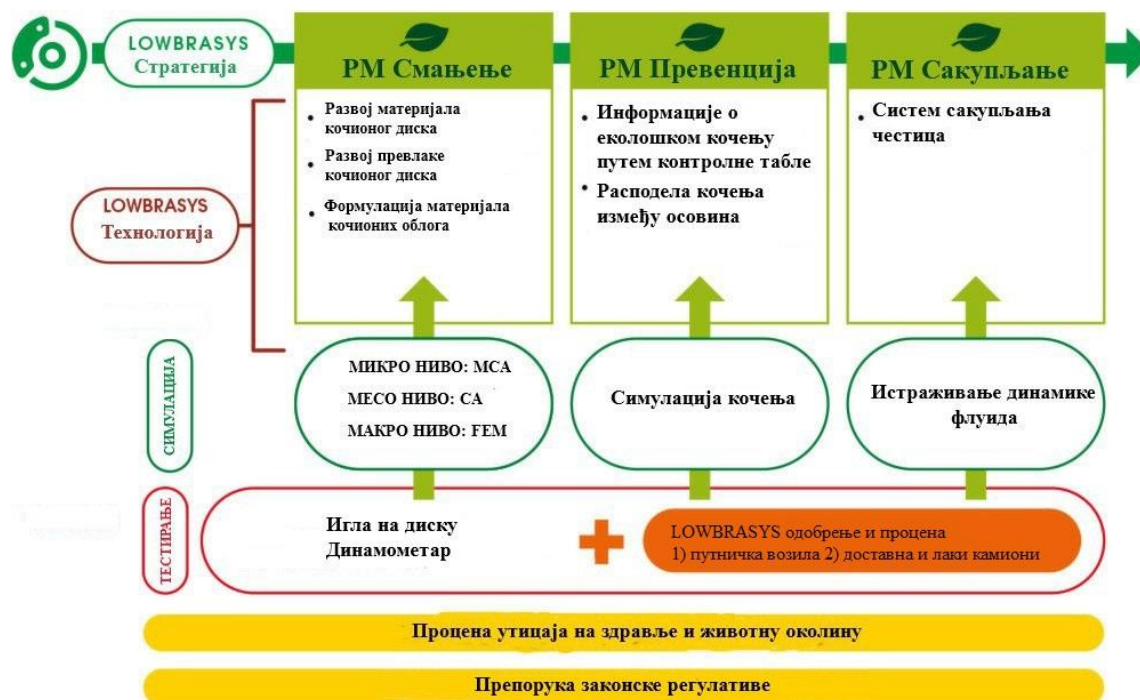
Циљ "Истражити концентрацију, морфологију и хемијски састав емисије честица" је постигнут идентификацијом експерименталног протокола за једноставну карактеризацију производа хабања. Експерименталне методологије које су идентификовани су дифракција Х-зрака (XRD) и енергетска дисперзивна рендгенска спектроскопија (EDXS) за анализу расутих честица, и електронска микроскопија (SEM), преносна електронска микроскопија (TEM) и EDXS за анализу једне честице. Истраживање литература је започето за процену здравственог утицаја производа хабања. Иста врста протокола-затворена петља се итеративно примењује у приступу пројекта.

Резултати постигнути до сада, указују да се ново конструисан динамометарски тест сто може предложити као стандардни тест сто да се објективно процене емисије у ваздуху честица кочница у будућем законодавству, посебно у случају урбаних услова. Дубље разумевање карактеристика трења и хабања диск кочнице који су постигнути симулацијом могу донети у будућности модел којим ће бити могуће створити боље фрикционе материјале.

У принципу, досадашњи добијени резултати тестирања, симулације и хемијске карактеризације ће послужити у наредном периоду до краја пројекта за развој нове стратегије за формулацију површинских третмана кочних плочица и кочних дискови [23].

5.3 Lowbrasys пројекат

Lowbrasys пројекат има за циљ да развије нову генерацију транспортне технологије која ће омогућити покретање иновације напред ка обезбеђивању чистијег и ефикаснијег транспорта, побољшавањем квалитета ваздуха што има позитивне утицаје на окружење и људски живот. На следећој слици је показана стратегија имплементирања нових технологија [8].



Слика 16. Стратегија имплементирања [8]

Lowbrasys пројекат има за циљ да представи нови систем кочења који ће имати мањи утицај на животну средину и којим ће се смањити емисија нано честица за 50%. Мерење и разумевање микро честица и ултрафиних честица и њихов утицај на здравље и окружење биће побољшано.



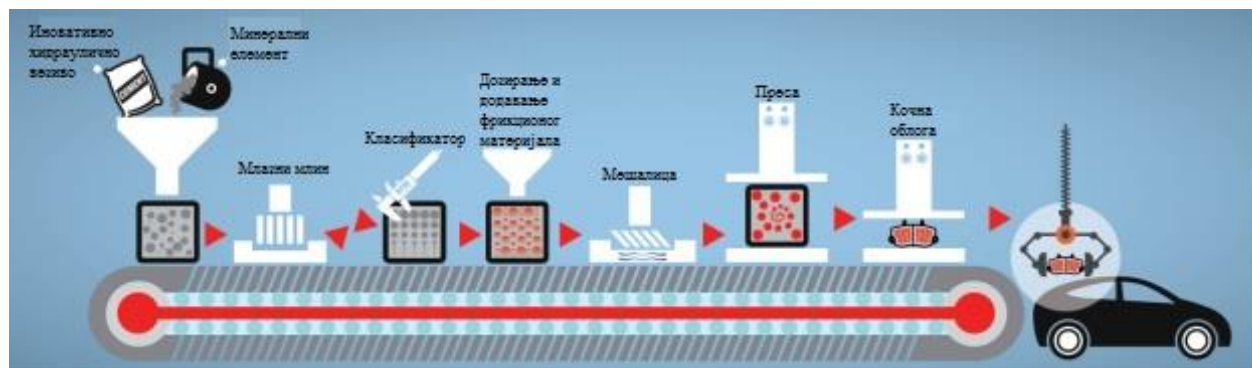
Слика 17. Мисија Lowbrasys пројекта [8]

Овај циљ Lowbrasys пројекат намерава да оствари преко следећих етапа:

1. нове формулације материјала кочних облога и кочних дискова како би се смањила укупна емисија честица и постигао мали утицај на животну средину,
2. иновативне и еколошки прихватљиве стратегије кочења (контролни системи) који ће смањити РМ емисију,
3. налажење адекватног решења за сакупљање честица близу РМ извора како би се у будућности драстично смањила емисија РМ честица,
4. побољшавање техника мерења и боље разумевање утицаја РМ продуката хабања на здравље и окружење кроз врхунске нове технике и законске регулативе.

5.4 Кобра пројекат (Cobra Project)

Кобра пројект ће демонстрирати потпуно нову технологију у производњи кочних облога која ће бити базирана на иновативном хидрауличном везиву уместо на бази фенол смола, при чему се постижу компаративне кочне перформансе. Сировине које се користе у новом хидрауличном везиву ће омогућити смањење потрошње енергије и трошење воде приликом производње. Нова технологија ће избећи емисију ултра финих честица $PM_{0.1}$ које се стварају приликом хабања традиционалних кочних материјала базираним на фенол смоли [9].

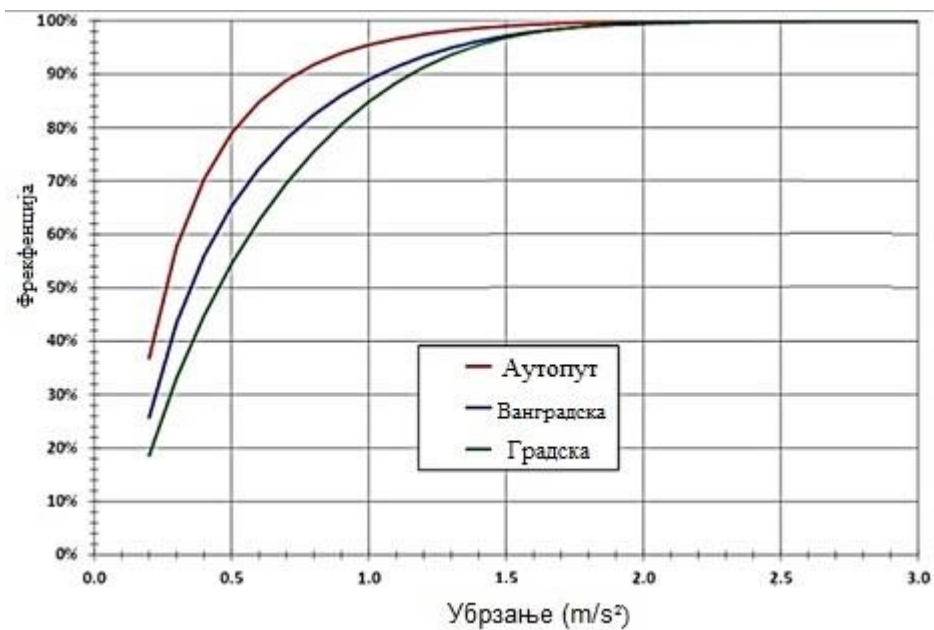


Слика 18. Састав кобра система имплементираног у аутомобиле [9]

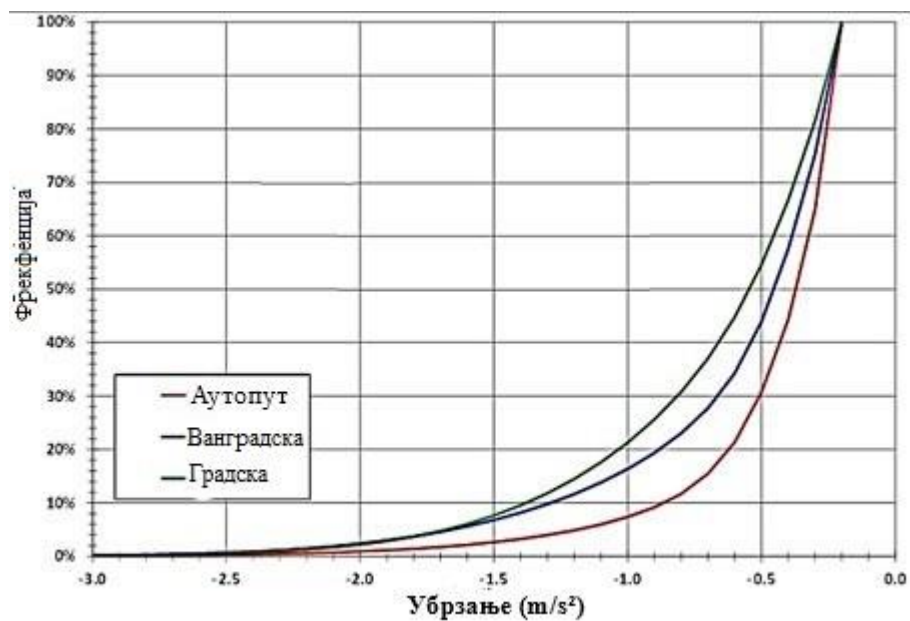
5.5 UNECE IWG PMP

На 38. UNECE IWG PMP састанку поводом емисије честица, које не емитују издувни гасови, представљено је истраживање тестова „нормалне“ војње. У обзир је узето убрзање, успорење, број кочења по километру. Један од закључака са састанка је да различити региони имају различите тестове кочења [12].

На следећим дијаграмима представљено је убрзање и успорење у градским, ванградским условима и на аутопутевима. Ови дијаграми показују да је 8% успорења веће од $1,5 \text{ m/s}^2$ за градску и ванградску војњу, а само 4% убрзања је било веће од $1,5 \text{ m/s}^2$.



Слика 19. Убрзање возила у различитим условима [12]



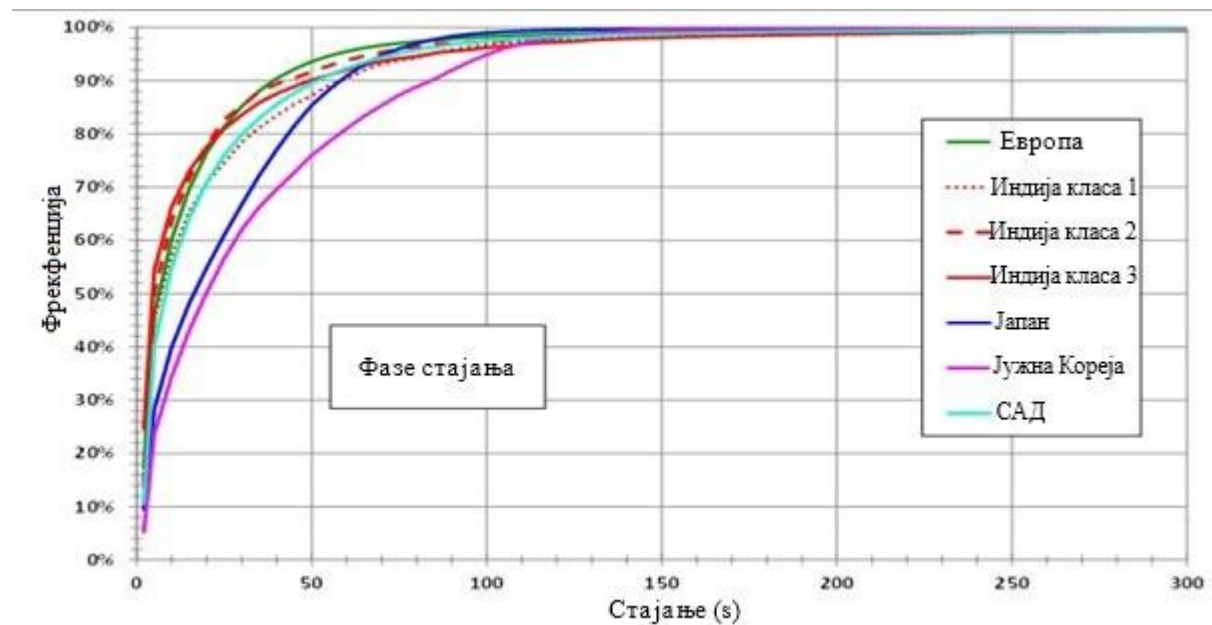
Слика 20. Успоравање возила у различитим условима [12]

У табели 20 је показан број кочења у различитим земљама. Повећана фреквенција кочења је примећена у Европи и Јапану, где имамо 4 кочења по километру у градским условима. Број кочења се смањује у ванградском саобраћају и на аутопутевима. [12]

Табела 9. Број кочења по километру у различитим земљама [12]

Подручије	Број кочења по километру		
	Градска	Ванградска	Аутопут
Европа	3,8	1,0	0,2
Индија, класа 1	3,2	1,6	
Индија класа 2	2,3	1,5	0,8
Индија класа 3	2,8	2,1	1,0
Јапан	4,5	1,3	1,2
Јужна Кореја	3,6	1,4	0,7

У овом истраживању је обухваћено и време стајања возила. У Европи 90% стајања траје мање од 40 секунди, односно имамо више мањих стајања која трају од 6-8 секунди.



Слика 21. Време мировања возила [12]

6. Стандарди коришћени у експериментима

6.1 ASTM G99 - 05(2016)-Стандардна тест метода за тестирање хабања на игла на диску апаратури

Количина хабања у било ком систему ће генерално зависити од многобројних фактора система као што су примењена сила, карактеристике машине, брзина клизања, дужина клизања, окружење у којем се налази и карактеристика материјала. Значај било које методе тестирања хабања лежи у предвиђању релативног рангирања комбинација материјала. Како тест игла на диску не покушава да створи услове које могу да се нађу у саобраћају (подмазивање, оптерећење, притисак, геометрију контакта, отклањање отпадних честица, присуство корозије), не постоји сигурност да ће тест предвидети брзину хабања датог материјала у условима који су различити од оних у тесту.

Ова метода тестирања покрива лабораторијске процедуре за одређивање хабања материјала током клизања коришћењем уређаја игла на диску. Материјали се тестирају у паровима у нормалним неабразивним условима. Циљ теста је да се измери хабање и опише исто. Коефицијент фрикције се такође може одредити.

Вредности се изражавају у јединицама SI система као стандардним. Јединице ван SI система се не користе.

Овај стандард не укључује безбедносне аспекте теста. На кориснику стандарда је да установи безбедносне мере и начин примене [20].

6.2 SAE J2707_201210 – Тест процедура хабања на инерционом динамометру за кочне фрикционе материјале

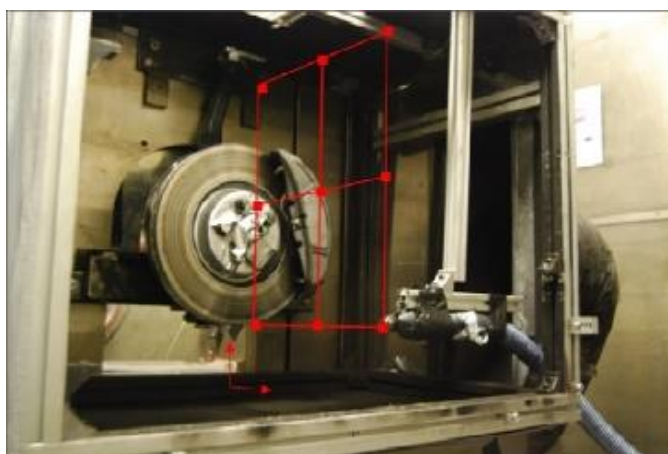
По овом стандарду се предвиђа коришћење динамометра за испитивање хабања кочних облога и кочних дискова. Специјална моторна возила и мотоцикли су искључени из овог стандарда. Приколице са номиналном тежином која прелази 40 тона су такође искључени из овог стандардног теста.

SAE J2707 стандард се нашироко користи од стране многобројних компанија широм света. Део је регуларног тестирања и није мењан на захтев индустрије. Новија методологија тестирања и опрема не утиче на крајње резултате теста [21].

7. Мерење емисије отпадних честица

Први корак у анализи кочних честица је мерење емисије честица. Ова тема је привукла много интересовања због представљања дизел филтера. Од кад су се технике и изводљивости мерења побољшале користе се и други извори за мерење тих честица. Без специјалних инструмената који одређују величину честица не би било довољно информација поред хемијских формула и да ли су према њима оне опасне по живот људи. Претходни мерачи величина честица су били фотометри или оптички мерачи који могу да мере честице које су веће од $100\ \mu\text{m}$ а неки само веће од $300\ \mu\text{m}$. Од развоја инструмента HORIBA SPCS (*Solid Particle Counter System*) могуће је детектовати честице изнад $23\ \text{nm}$.

Тестови спроведени на динамометру у *TU Ilmenau* су приказани у даљем тексту. Овај динамометар омогућава лабораторијске услове за поновљиве тестове емисије кочних облога. У овим условима могуће је упоредити утицајне факторе на емисију кочница, формулацију кочница, историју претходних кочница и много других ствари.

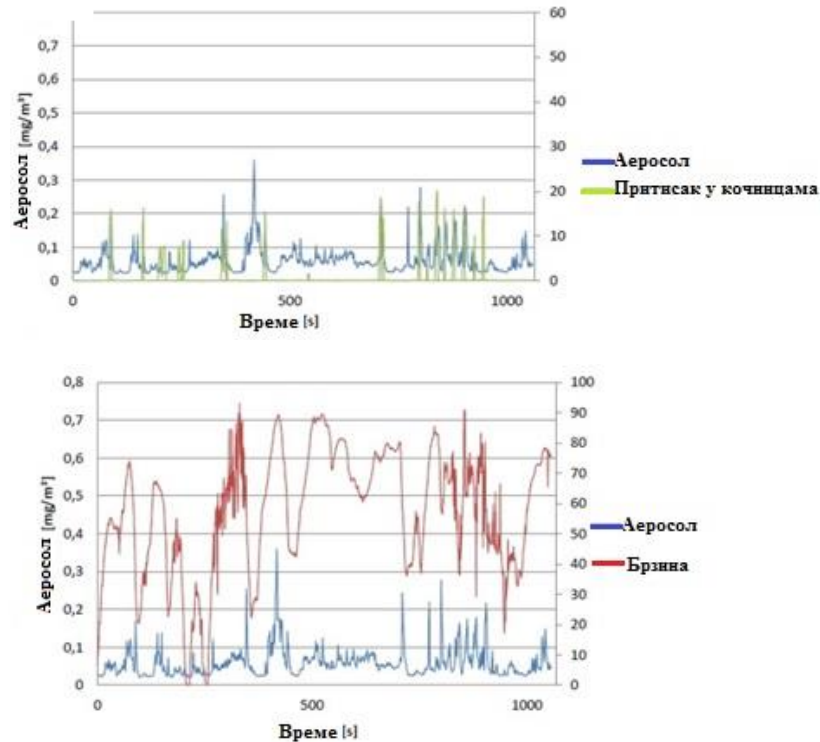


Слика 22. Мерење емисије кочница преко динамометра [4]

Следећи изазов је пронаћи најбоље мерно место за мерење честица. Због мале масе честице имају тенденцију да упадају у различита струјања ваздуха. Зато је велики проблем одредити тачке мерење честица користећи стандардне технике зато јер у овим тестовима се мора користити ваздух за хлађење. Треба спровести различита места мерење како би одредили оптималну тачку мерења (слика 22).

Када се одговарајући параметри подесе, упоређивање може да почне. Може доћи до случаја да новије кочне облоге емитују више загађујућих честица у периоду до стабилизације трења. Разлог је што се фрикциони материјал и ковани диск морају адаптирати једно другом да би систем функционисао правилно. Ово се дешава током првих 40 циклуса кочења у зависности од брзине ротирања кочног диска и притиска кочног цилиндра. Следећи релевантан фактор је употреба различитих формулација кочних облога. Као на пример ECE и NAO кочне облоге. ECE су кочне облоге намењене европском тржишту и прављене по европској регулативи за кочне облоге. ECE кочне

облоге се праве са више абразивних састојака због потребе за већим кочним трењем због постојања путева са високим дозвољеним брзинама или путева где ограничења у брзини не постоје. NAO кочне облоге су намењене азијском тржишту. NAO значи неазбестне кочне облоге и оне се примењују због дугог трајања и мале буке приликом кочења, али не задовољавају стандарде Европске Уније. Тестиране кочне облоге емитују 300% више честица од NAO кочних облога у градским условима вожње. На отвореном долази до смањења емитовања честица, али је код ЕСЕ кочних облога два пута веће емитовање. У испитивању приликом интензивног кочења када кочне облоге достижу и до 300 °C долази до значајног пада кочних карактеристика NAO кочних облога и због тога не могу да се користе у замену за ЕСЕ кочне облоге. Неки произвођачи почели су да производе хибридне кочне облоге које имају карактеристике између ЕСЕ кочних облога и NAO. Мерења на мерним столовима су од круцијалне важности за процену параметара за мерење честица, али заправо је то покушај да се постигне мерење емисије које ће се појавити током експлоатације возила током реалне вожње. Зато је веома битно обавити мерења приликом вожње у реалним условима. Проблем мерења у реалним условима је мањак инструмената које могу да мере честице величина реда нано. Због мањка ових инструмената подаци сакупљени у путним условима се пореде са лабораторијским како би се добили реалнији резултати. Уређаји за мерење у реалним условима се постављају иза кочних цилиндара како би се избегло детектовање честица прашине или честице које емитује друго возило. Тест возило је опремљено сензором који мери притисак кочења тако да и тај параметар може да се прати.



Слика 23. Подаци мерења узетих у току релалне вожње [4]

Слика 23 показује концентрацију честица током вожње возила. Поједини пикови у дијаграму показују концентрацију честица приликом одређених радњи током процеса кочења, али други максимуми на дијаграму не потичу од кочења већ од неких других емитера честица. Зато треба посматрати монитор и уочити радње које су могући емитери честица а немају везе са процесом кочења. Помоћу оваквог теста могуће је доказати смањење емисије честица за разлику од лабораторијских испитивања [5].

7.1 Израчунавање продуката кочења

Хабање кочних облога и стварање отпадних честица у животној средини је један од извора бакра. Мерење отпадних честица је могуће помоћу одговарајућих једначина. Емисија се мери по различитим категоријама возила. Рачуна се множењем стопе активности у овом случају, број километара пређених на холандским путевима са емисионим фактором (EF), изражено у емисији по јединици (AR).

$$E_s = AR \times EF \quad (1)$$

Где је:

E_s- емисија честица (kg),

AR- пређени пут (km),

EF- емисиони фактор.

Емисија бакра се може израчунати као део отпадних честица.

$$E_x = E_s \times X \quad (2)$$

Где је:

E_x- емисија компонената X (kg),

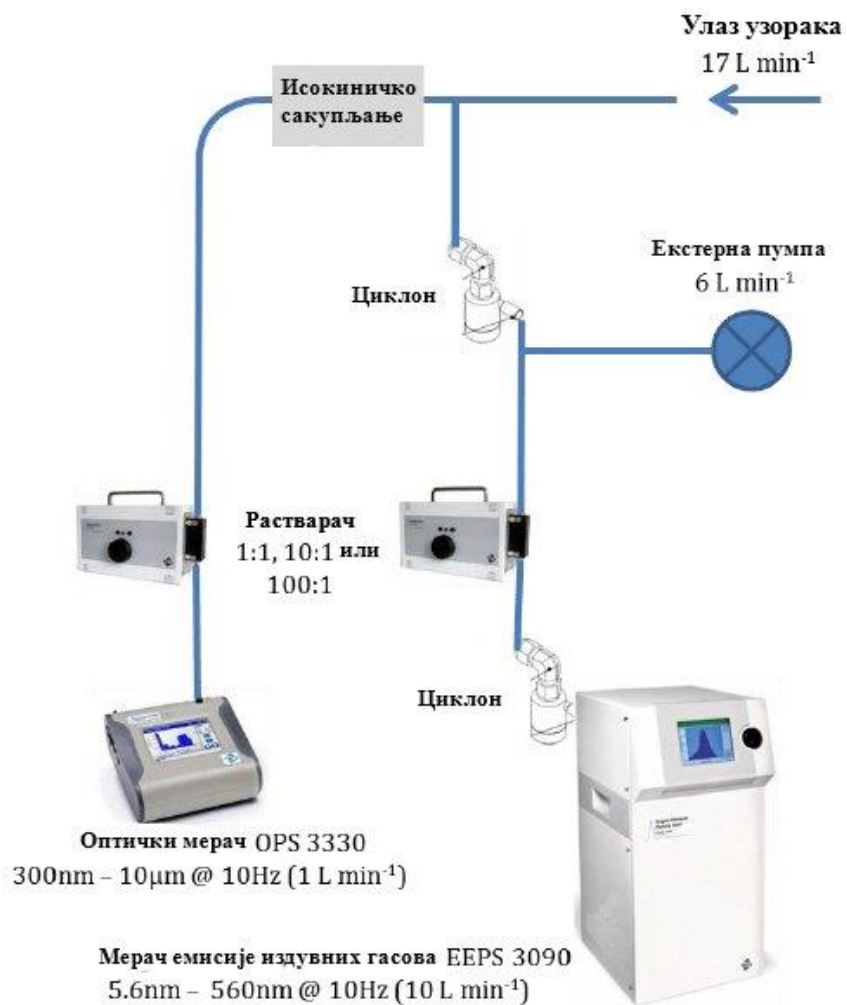
X- састав компонената X у кочним облогама.

Израчуната емисија се односи на укупну емисију. Одређени део завршава у површинским деловима воде, овакав начин загађења се зове мрежно загађење површинских делова воде [14].

7.2 Мерење помоћу мерача издувних гасова

Метода сакупљања узорак мора бити пажљиво смишљена како би се сакупили валидни узорци хабања кочних облога. Проблем настаје код различитих величина сакупљених честица. Треба користити одговарајуће цевоводе које ће правилно да доводе одговарајуће честице до уређаја за мерење. Честице које су испод 100 nm могу да се залепе за зидове цеви и тако не буду измерене, док оне честице које су мање од 1 µm могу се несметано кретати кроз цевовод. Сви делови улазног цевовода су проводљиви, како би се избегао

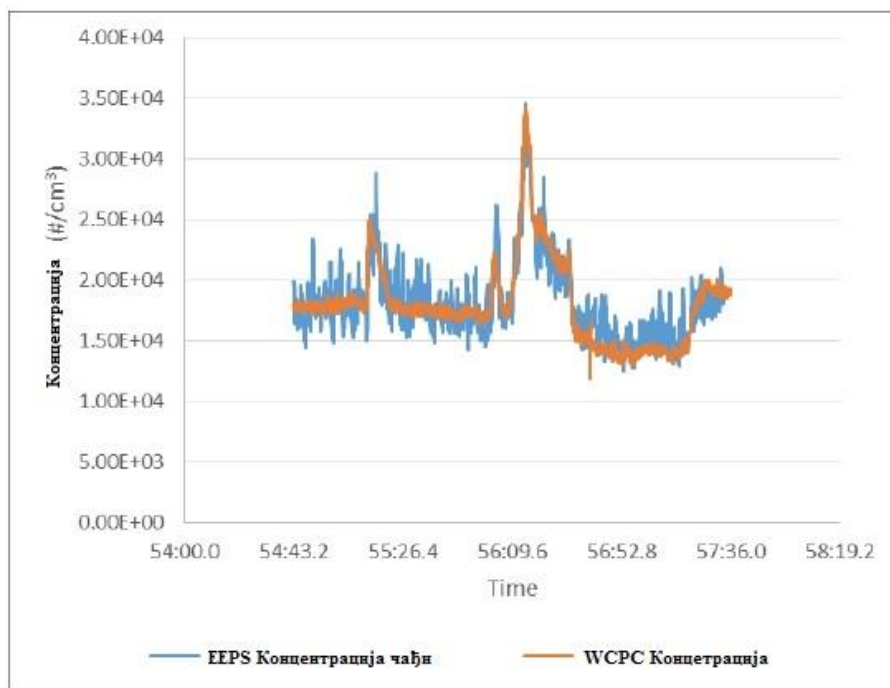
електростатички ефекат. На следећој слици је показана шема мерења помоћу оптичког мерача и мерача за издувне гасове [3].



Слика 24. Поред мерача издувних гасова и оптичког мерача, као додатак је и три растварача [3]

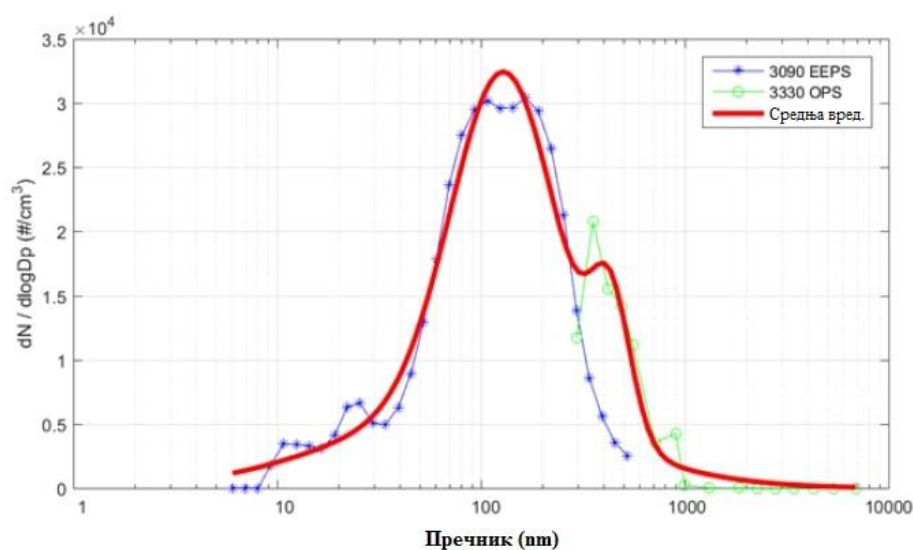
На слици 24 се види мерач издувних гасова (EEPS) и (N-WCPC) који користи чађ матрицу [3]

На слици 25 се може видети да се подаци уређаја EEPS који користи чађ матрицу и N-WCPC уређаја одлично слажу.

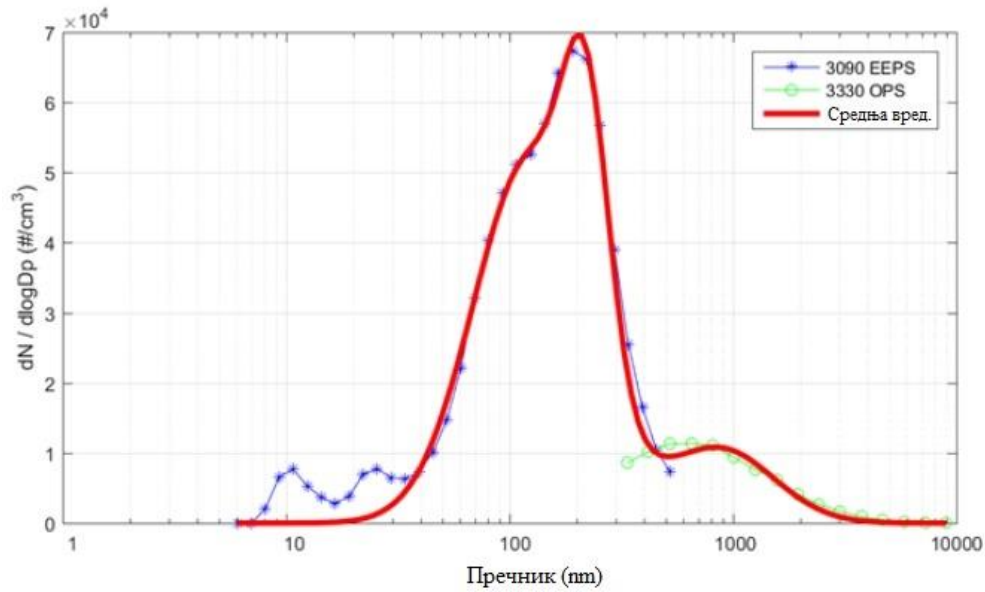


Слика 25. Концентрација честица продуката хабања кочних облога које је мерено преко мерача издувних гасова (плаво) користи чађ матрицу и N-WCPC (наранџасто) [3]

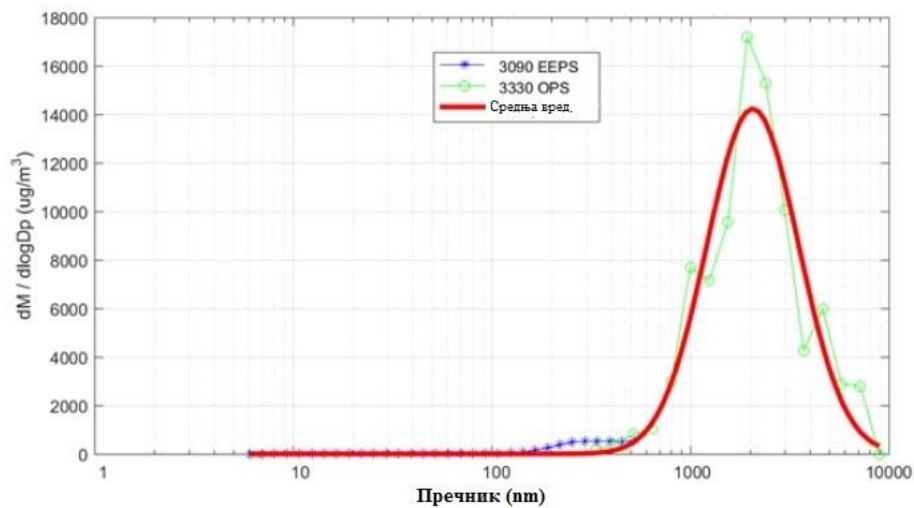
Софтвер под називом *Multiple Instrument Manager Software 2.1*, је дизајниран да споји податке од мерача издувних гасова EEPS и оптичког мерача OPS, што је показано на слици 26.



а)



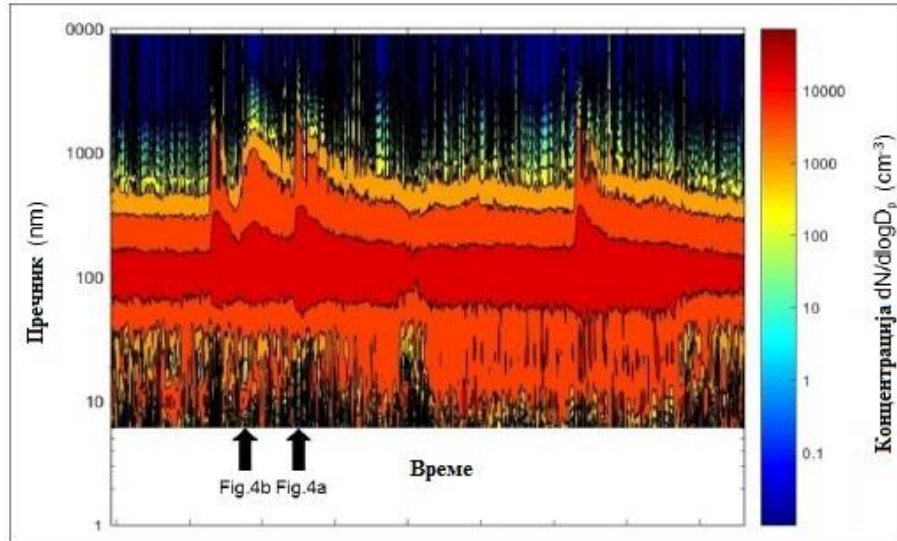
б)



в)

Слика 26. Мерење честица са лаганим кочењем (а) и са интензивним кочењем (б), на слици в) је приказана масена концентрација честица након интензивног кочења (б) [3]

Доминантна величина честица у оба случаја је око 100-200 nm. Искључиво током лаганог кочења, концентрација честица је реда величина изнад 1 μm . Пик на дијаграму изнад 1 μm сугерише да честице могу представљати критичну компоненту приликом кочења у смислу масене концентрације. Током интензивног кочења пик је око 500 nm. Разлика у величини честица нам показује да се у овом експерименту морају користити други уређаји који могу да мере шири спектар величина честица, што је показано на дијаграму.



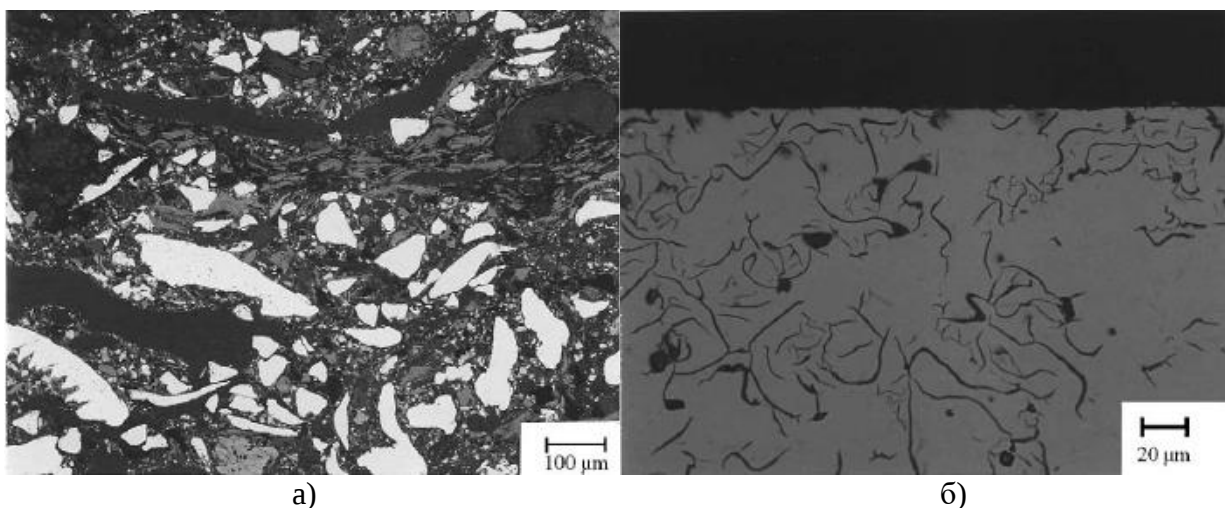
Слика 27. Концентрација честица на одређеном пречнику [3]

На слици 27 је показано 2,5 минута података у распону од 6 nm – 10 μ m. Густина концентрације је показана бојом на скали десно. Стрелице показују време тестирања које је обухваћено [3].

8. Резултати експерименталних истраживања

8.1 Експеримент 1

За материјал кочних дискова је коришћен сиви лив типа 40. Просечна тврдоћа по Викерсу је $HV=2,92$ GPa. Хетерогена микроструктура кочних облога је показана на слици 28(б). Тврдоћа материјала кочних облога се креће од 0,23 до 3,07 GPa. Испитивање је спроведено да би се испитала појединачна зрна тако да се укупна тврдоћа кочних облога не може одредити [2].



Слика 28. Микро структура сивог лива (а), хетерогена микроструктура кочних облога које су коришћене у експерименту (б) [2]

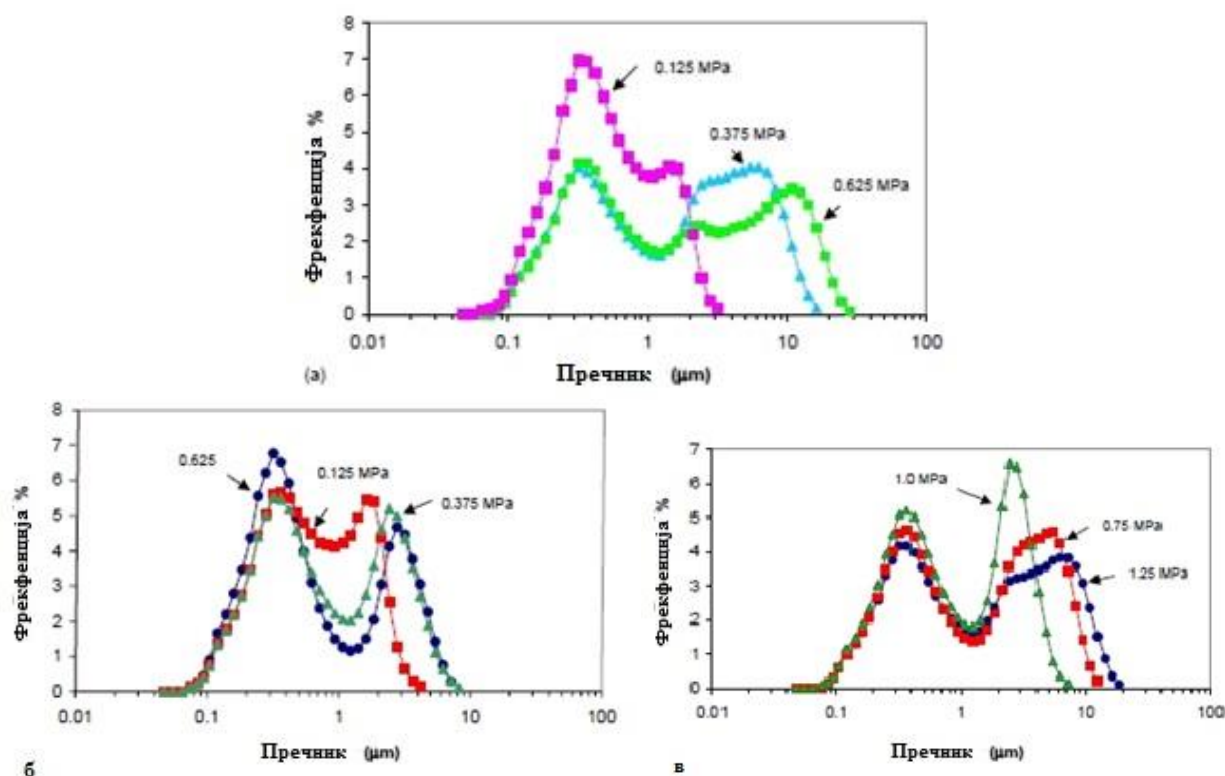
За потребе тестова хабање кочних облога коришћена је метода игла на диску где је попречни пресек игле квадратни. Кочни дискови су направљени од сивог лива пречника 3,81 cm, а пречник контактне површине са иглом је 2,54 cm. Брзина клизања је 0,275 и 5 m/s за споро и брзо клизање. Храпавост површине R_a је 0,125. Контактни притисак је 0,125; 0,375 и 0,625 МПа за мале брзине и 0,75; 1,0; 1,25 МПа за велике брзине. Укупна пређена дистанца приликом овог експеримента је 8 km. Спољашња температура је 20-24°C. Алуминијумска фолија је употребљена да се сакупе продукти хабања током кочења. Сакупљено је око 90% остатака кочења. Уређај који се користио за детектовање честица је био LA-700 ласерски анализатор. Анализатор је могао да детектује честице од 0,04 – 0,262 μm. Главни распршивач је дестилована вода. Међутим као оквашивач је коришћен амонијак поликрилат и *Moanawet*, они могу да обезбеде и детектовање најситнијих честица, 0,1% истих је коришћено за распршивач [2].

8.1.1 Резултати

Коефицијент хабања је одређен мерењем масе остатака од хабања игле подељено са притиском и укупном пређеном дистанцом. Табела 10 показује мале разлике између континуалног и повремениг оптерећења игле [2].

Табела 10. Разлика између континуално и повремениг оптерећења [2]

	Континуална мала брзина клизања	Мала брзина клизања са прекидима	Велика брзина клизања
Коефицијент хабања	$1,4 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-6}$	$0,89 \times 10^{-6}$



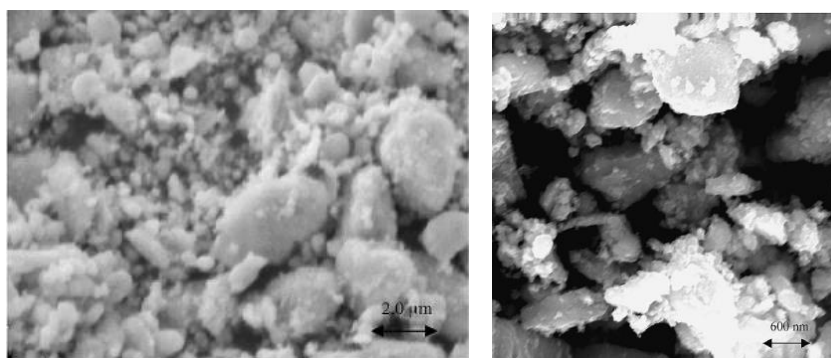
Слика 29. Расподела величине честица хабања генерисаних током а) малих брзина (брзина клизања=0,275 m/s) б) малих брзина са прекидима (брзина клизања=0,275 m/s), в) великих брзина (брзина клизања=5 m/s) [2]

Брзина клизања драстично не утиче на хабање кочних облога. Табела 11 сумира фриксионе коефицијенте који су измерени током теста. Фриксиони коефицијенти су између 0,4-0,6 и 0,35-0,5 за тестове мале и велике брзине.

Табела 11. Скуп коефицијента трења мерено са различитим притисцима и брзинама [2]

Притисак (МПа)	Континуална мала брзина клизања	Мала брзина клизања са прекидима	Велика брзина клизања
0,125	0,55	0,5	
0,375	0,5	0,425	
0,625	0,475	0,55	
0,75			0,475
1			0,375
1,25			0,35

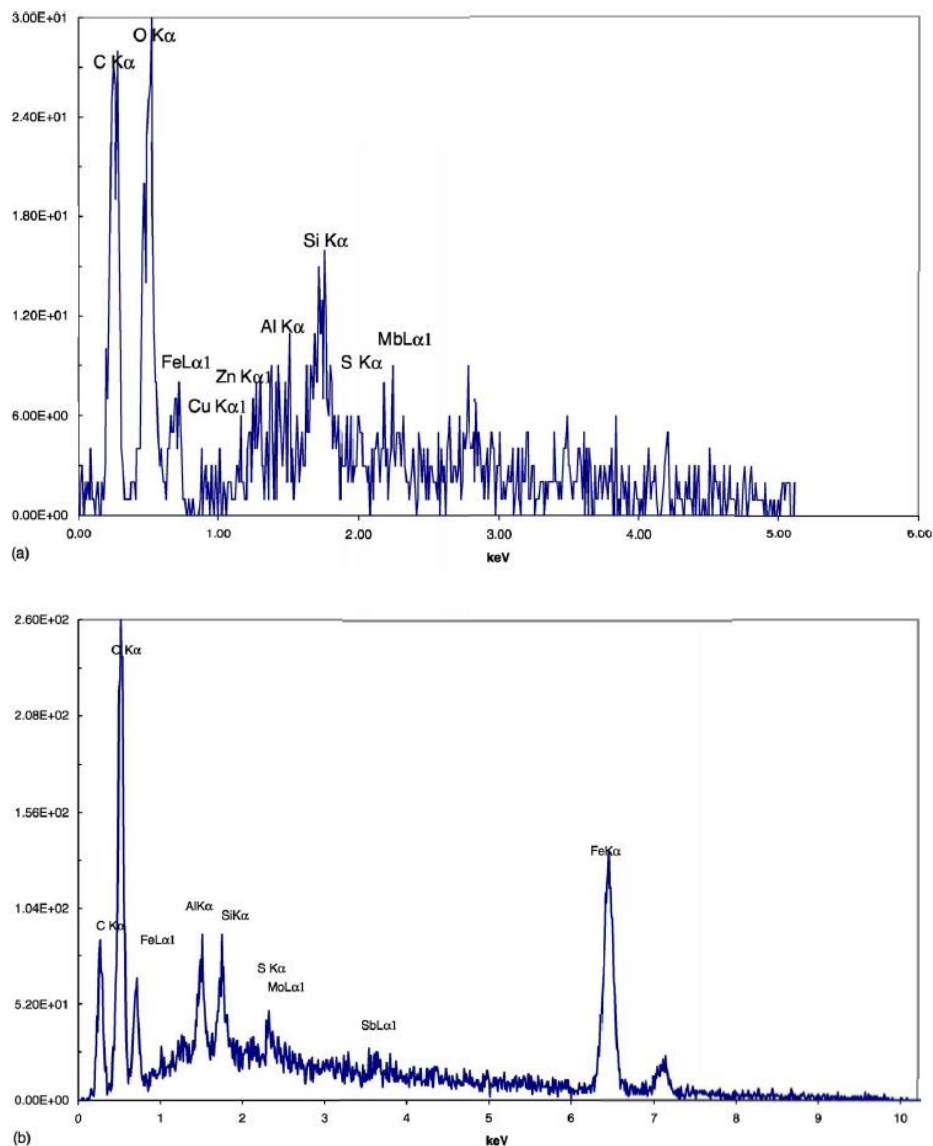
Разлика у величини честица које настају приликом хабања кочних облога при малим брзинама је показана на слици 29(а). Постоје два максимума у фреквенцијама. Први максимум је око 350 nm за све номиналне контактне притиске. Величина честица постају веће приликом повећања притиска. Величина честице из другог максимума је 2, 7, 15 μm за 0,125; 0,375 и 0,625 МПа притиска. Контакт са повременим прекидом није довело до повећања честица као што је показано на слици 29(б). Међутим, имало је тенденцију смањивања величине честица на другом максимуму за тест при већом брзином. Скенирање електронским микроскопом (SEM) честице које су скупљене приликом континуалног трења кочне облоге о диск показује скупине великих честица. Ове скупине се сачињавају од честице величина мањих од микрона и већих реда микрона у различитим облицима. Слика 30(а) и 30(б) су сликане електронским микроскопом и урађене су приликом тестирања при малим и великим брзинама [2].



Слика 30. Кочна облога снимљена електронским микроскопом [2]

Честица величина испод микрона до неколико микрона са високом концентрацијом гвожђа, силикона, угљеника, алуминијума, кисеоника и молибдена су нађене коришћењем енергијско дисперзивном спектроскопијом X-зрака (EDX). Слика 31(а) показује EDX спектар 5 μm x 5 μm подручја у центру слике 30(а). Ове честице су формиране од кочног материјала који је направљен од високе концентрације силикона, алуминијума, и молибдена. Спектар 5x5 μm подручја у доњем десном углу слике 30(б) је показан на слици 31(б). Спектар сугерише постојање антимона у кочном материјалу. Не може се утврдити да ли је појава угљеника настала од кочне облоге или од графитних љуспица из ливеног

кочног диска. Путање хабања на дисковима од ливеног гвожђа су глаткије у односу на оригиналне машински обрађене површине. Ово настаје због углачавања тврдих површина од стране абразивних честица у мекши материјал кочне плочице и могућег попуњавања машинских жлебова опиљцима [2].

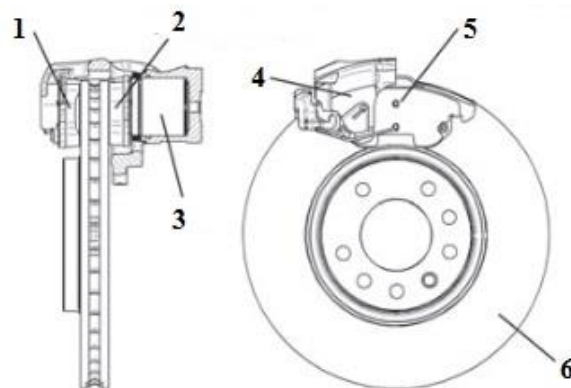


Слика 31. EDX анализа $5\text{ }\mu\text{m} \times 5\text{ }\mu\text{m}$ подручја на слици 31 (a) је центар слике 30(a) а слика 31(б), доњи десни угао слике 30(б) [2]

8.2 Експеримент 2

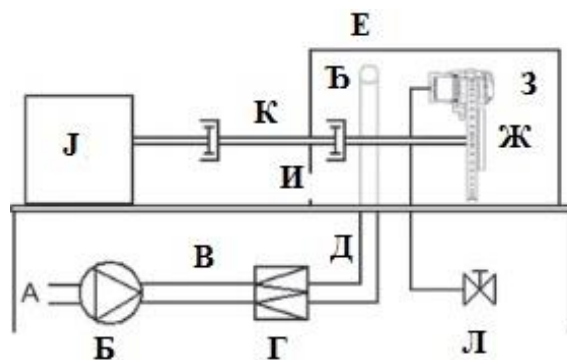
У овом тесту коришћена је предња кочница путничког аутомобила. Диск кочница се састоји од вентилирајућих дискова, кочне чељустуи за једним клипом и две кочне облоге. Са супротне стране кочног цилиндра се налази термпар који мери температуру контакта са кочног диска. Шематски приказ ове поставке је приказан на слици 33.

Мотор једносмерне струје са номиналним обртним моментом од 191 Nm погони диск и пнеуматски систем (Л) који је повезан за кочни склоп (Ж) који се користи за кочење. Када се активира кочница, мотор погони диск у стационарном режиму. Погонско вратило (К) преноси обртни момент од мотор (А) до лежаја преко којег се обрће диск. Мотор и погонско вратило су повезани преко фрикционе спојнице, а лежај точка и вратило су повезани преко сигурносне спојнице. Комора (Е) затвара цео систем од спољашњег окружења. Електро мотор је осигуран лежајевима са обе стране.

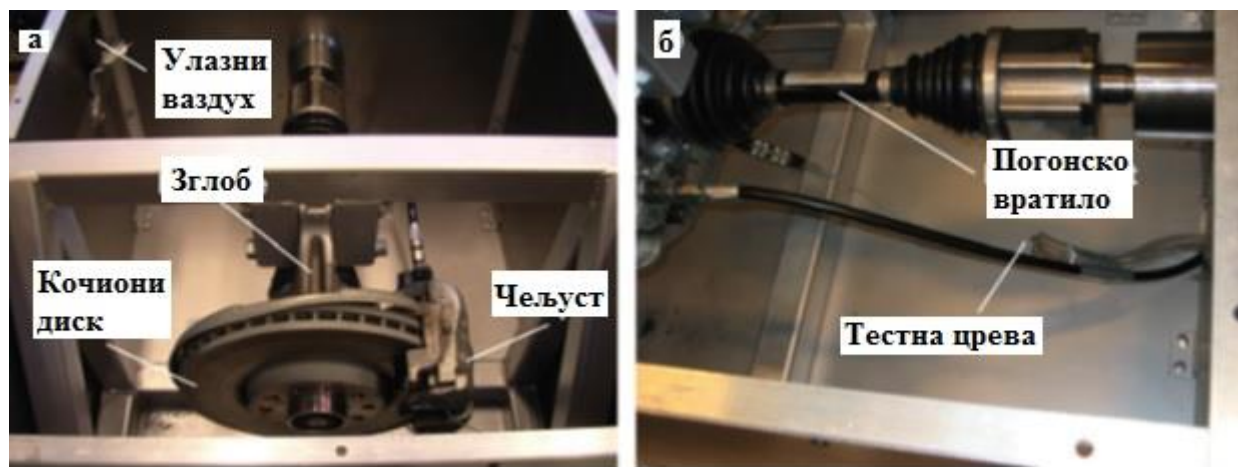


Слика 32. 1 – Спољна плочица, 2 – Унутрашња плочица, 3 – Клип, 4 – Челјуст,
5 – Отвор за термопар, 6 – Кочни диск [5]

Примењени обртни момент на електро мотор се мери преко калибрисане мерне траке која мери силу помножено са растојањем од центра мотора са тачношћу од $\pm 2,2\%$.



Слика 33. Шематски приказ експерименталне поставке. А – Собни ваздух, Б – Вентилатор, В – Мерач протока ваздуха, Г – Филтер, Д – Флексибилна цев, Ђ – Улаз за чист ваздух, место мерења, Е – Затворена комора, Ж – Кочни склоп, З – Ваздух у комори, И – Излаз ваздуха, место мерења, Ј – Мотор, К – Погонско вратило, Л – Пнеуматски систем [5]



Слика 34. Фотографија из затвореног кућишта [5]

Брзина ротирања диска се мери са тачношћу од 2,2 % уграђеним Халовим сензором у лежају точка са резолуцијом од 48 пулсева. Висина притиска се мери са тачношћу од 0,5% калибрисаним пиезоелектричним сензором притиска који се налази близу кочног цилиндра. Сигнали који се добијају из сензора који се налази код ротирајућег диска су повезани преко ХБМ Спајдер 8 појачала које је повезано са рачунаром у коме се чувају подаци [5].

Комплетна мерна поставка се налази у затвореној комори. Комора се користи за контролу чистоће ваздуха. Слика 34 показује простор унутар коморе. Вентилатор (Б) узима ваздух из собе (А) и прослеђује га у комору (Е) кроз отвор (Д) преко мерног система (В) и филтера (Г). Вентилатор и мерни систем, мерни систем и ваздушни филтер, филтер и комора су повезани преко флексибилних црева (Д). У овом тесту сви спојеви су осигурани од цурења. Цурење не би пореметило тест због тога што је притисак унутар коморе већи од спољашњег притиска. Међутим цурење би утицало на мерење струјања ваздуха, што утиче на мерење концентрације честица [5].

Главни инструмент који се користи за мерење честица је GRIMM 1,109 спектрометар. Овај инструмент мери честице од 0,25 до 32 μm у 31 интервалу и концентрацији од 1 до 2×10^6 честица 1/L у протоку од 72 l/h. Оваква концентрација честице се ствара на сваких 6 s. Зато што је оптички мерач осетљив на облик и на индекс рефлексивности честица.

Други инструмент за мерење је P-TRAK бројач. Овај кондензациони нуклеус мери концентрацију честица у ваздуху између 0,02 и 1 μm . Код оба инструмента 50% честица се броји, граница је одређена где се тачност у бројању смањује на 50%. Не постоји величина честица у односу на горњу и доњу границу и честице се сакупљају једанпут у секунди.

Трећи инструмент за мерење се назива DustTrak аеросол монитор који мери концентрацију по маси у mg. Инструмент се такође базира на распршивању светлости и може да мери концентрације честица које су реда величине PM₁₀, PM_{2.5} или PM_{1.0}. Инструмент је калибрисан са стандардизованим тестом прашине са различитим

димензијама честица. Иако се излаз из инструмента користи као релативна мера корисна је информација видети мењање масе честица током времена [5].

8.2.1 План теста

Како би утврдили да оваква поставка може да мери концентрације различитих честица прво се обавља иницијални тест. Пар кочних облога са малом концентрацијом метала и пар кочних облога са неизбестним саставом су коришћене са диском од ливеног гвожђа и тест је рађен у стационарним условима (константан притисак кочног цилиндра на облоге при константној брзини обртања диска). Услови теста су осмишљени тако да симулирају реалне услове паркираног возила који стоји преко ноћи у влажном окружењу. Дискови су набављени директно од произвођача и третирани су антикорозивном заштитом. Како би се скинула ова заштита дискови су били под стационарним притиском од 1 bar и брзини ротације од 600 обртаја у минути током периода од 12 минута. Након овог периода већина антикорозивне заштите ће се скинути. Након тога дискови се стављају у влажне коморе са влажношћу ваздуха од 80% при температури од 20°C током 8h како би се накупио слој корозије на површини диска. Оба типа кочних облога су подвргнути истом тесту на три различита притисака 1,2; 1,7 и 2,2 bar. За сваки тест брзина окретања диска је била 600 обртаја у минути и тест је трајао 6 минута. Сви тестови су рађени при собној температури. Вентилатор који је убацивао ваздух у комору је подешен да убацује 33 метара кубних по сату. Ваздух који је улазио није садржао било какве честице јер се вршило мерење садржаја честица на улазу у комору и после завршетка теста. У оба случаја концентрација честица је била 0 [5].

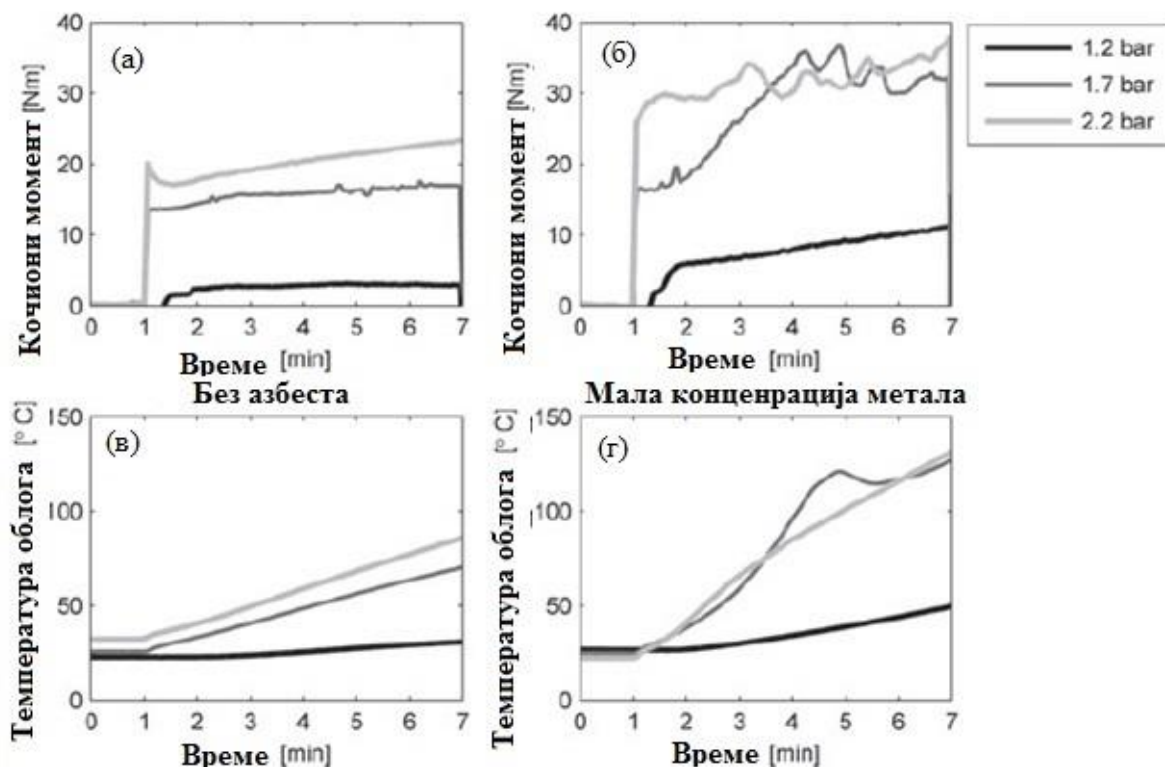
Мерени обртни момент укључује и губитке у трењу и у трансмисији од мотора до диска. Док се притисак кочног цилиндра примењује, брзина ротације диска, момент кочења и притисак цилиндра се мере са фреквенцијом од 1200 Hz. Током теста сакупљене честице се измешају сваких 6 s од стране *GRIMM* инструмента, и сваких 5 s од стране *P-TRAK* инструмента. Масена концентрације се складишти од стране *DustTrak* сваких 5 s.

8.2.2 Резултати теста

Обртни момент кочнице и температуре кочне облоге су показани на слици 35. При притиску кочног цилиндра од 1,2 bar, момент кочења за неизбестне кочнице, као и облоге са малом концентрацијом метала је 0 за првих 20 s али након тога долази до повећања на 3 и 11 Nm. На средњем притиску од 1,7 bar обе кочне облоге имају мале моменте кочење првих 20 s пре него што се момент кочења не повећа. На притиску кочног цилиндра од 2,2 bar, момент мерен за неизбестне кочне облоге се повећава на 23 Nm током трајања теста, док се за кочне облоге са малом концентрацијом метала момент кочења повећа на отприлике 38 Nm. Момент кочења је већи код кочних облога са малом концентрацијом метала као што је и очекивано. Током теста дошло је до загревања кочних облога због трења.

За оба типа кочних облога дијаграм температура је стрмији током повећаног притиска кочног цилиндра. Код неизбестних кочница пораст температуре је линеаран. Повећање

температуре код неазбестних кочница при малом притиску је мало. Како би мерење било једноставније честице су подељен у две групе, једна су крупне или грубе честице (између 1-10 μm) док другу групу чине fine честице прашине (мање од 1 μm). Слика 36 показује концентрацију честица од неазбестних кочних облога, као и од кочних облога са малом концентрацијом метала и обе врсте су мерене преко *GRIMM* инструмента [5].



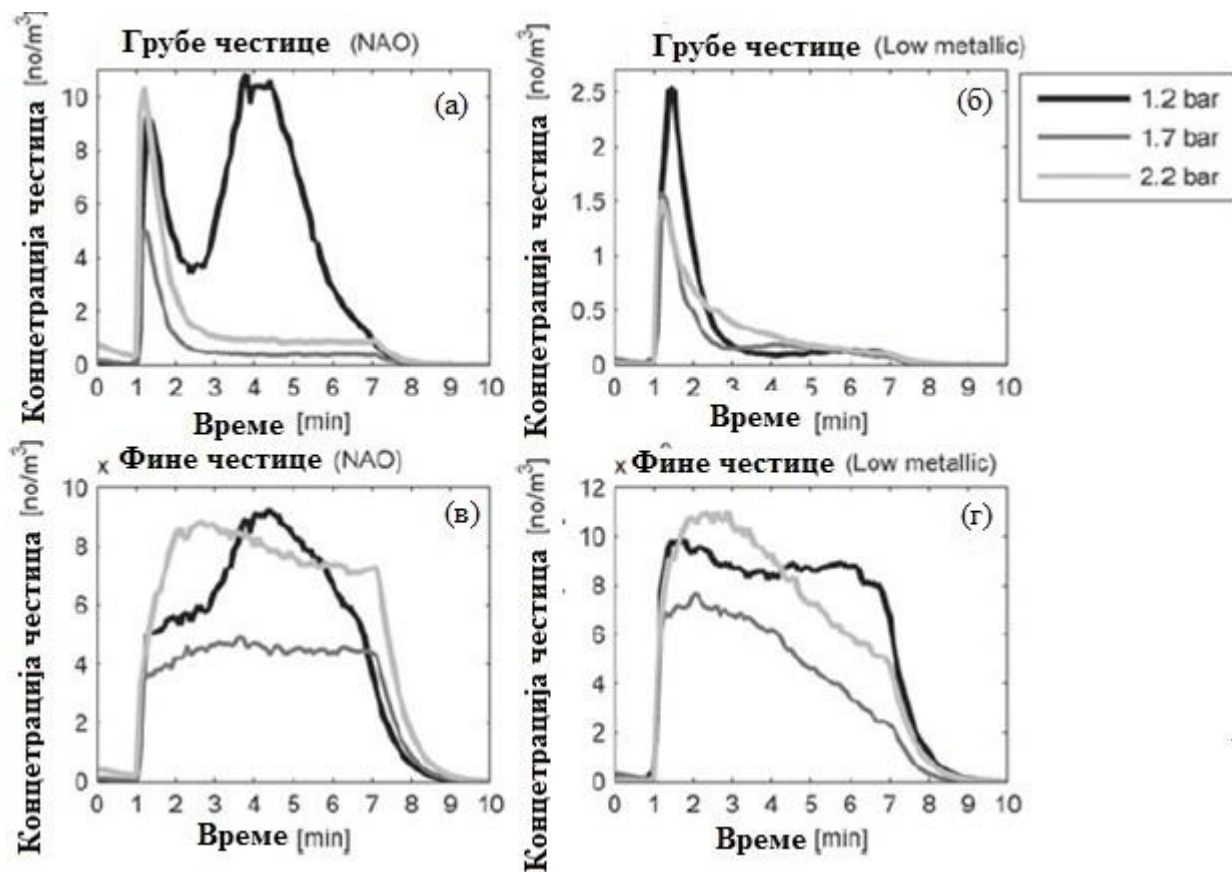
Слика 35. Момент кочења и кочна облога током теста. Два графика (а,в) са леве стране су за неазбестне кочне облоге, а два графика (б,г) са десне стране су од кочних облога са малом концетрацијом метала [5]

Максимум у концентрацији честица је 5 пута веће него после максимума. Постоји још један максимум код неазбестних кочних облога када је притисак кочног цилиндра 1,2 bar. Концентрација ситнијих честица је исти код свих типова тестова. Као што се може видети на слици 35 укупан број ситнијих честица је до фактора 100 је већи од броја грубих честица након почетног максимума. Чини се да се одређена количина честица распршује у ваздуху након почетног обртања диска без примене силе кочног цилиндра током првог минута. Главна концентрација честица у интервалима 1-2,5, 2,5-7, и 1-7 min за неазбестне облоге су приказане на слици 37.

Масена концентрација распршених честица се мери преко *DustTrak* инструмента и преко *P-Trak* инструмента се може видети на слици 37.

Слика 36 показује нормализовану дистрибуцију честица одређених величина. Све је мерено преко *GRIMM* уређаја. За два горња графика главна концентрација је узета између

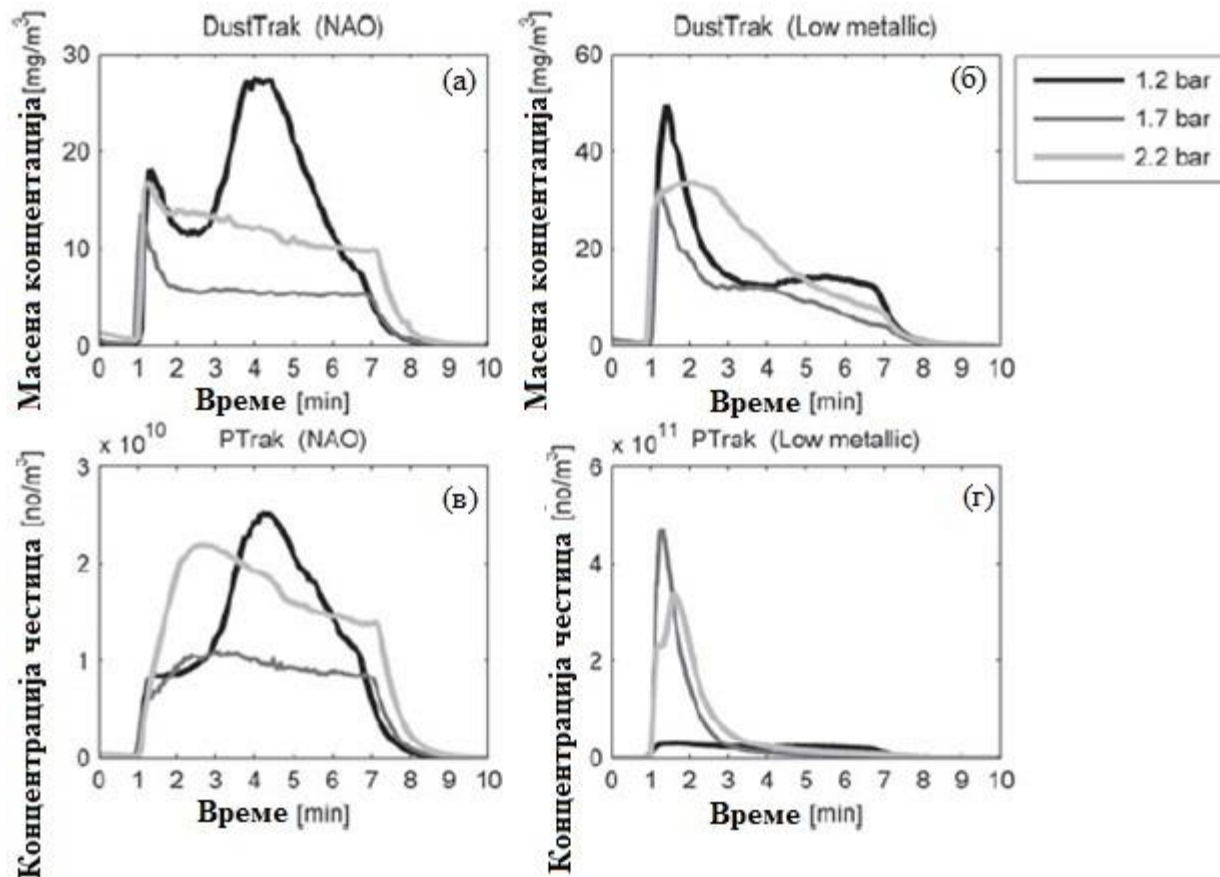
1 и 2,5 min, где постоји максимум код концентрације грубих честица. За два нижа графика главна концентрација је узета између 2,5 и 7 min (после максимума) [5].



Слика 36. Концентрација честица грубих као и финих честица мерена од стране GRIMM уређаја. Два графика (а,в) са леве стране су за неазбестне кочне облоге, два графика (б,г) са десне стране за кочне облоге са малом концентрацијом метала. [5]

Величина честица након хабања за неазбестне кочне облоге су максимум 3 μm за главну дистрибуцију узету између 1 и 2,5 min. Овај максимум се смањује после 2,5 min за све тестове осим за неазбестне кочне облоге кад је притисак кочног цилиндра 1,2 bar. Сви тестови распршених честица у ваздуху су величина 0,28; 0,35; 2 и 3 μm . Напомена да све честице које су распршене у ваздуху су fine фракције.

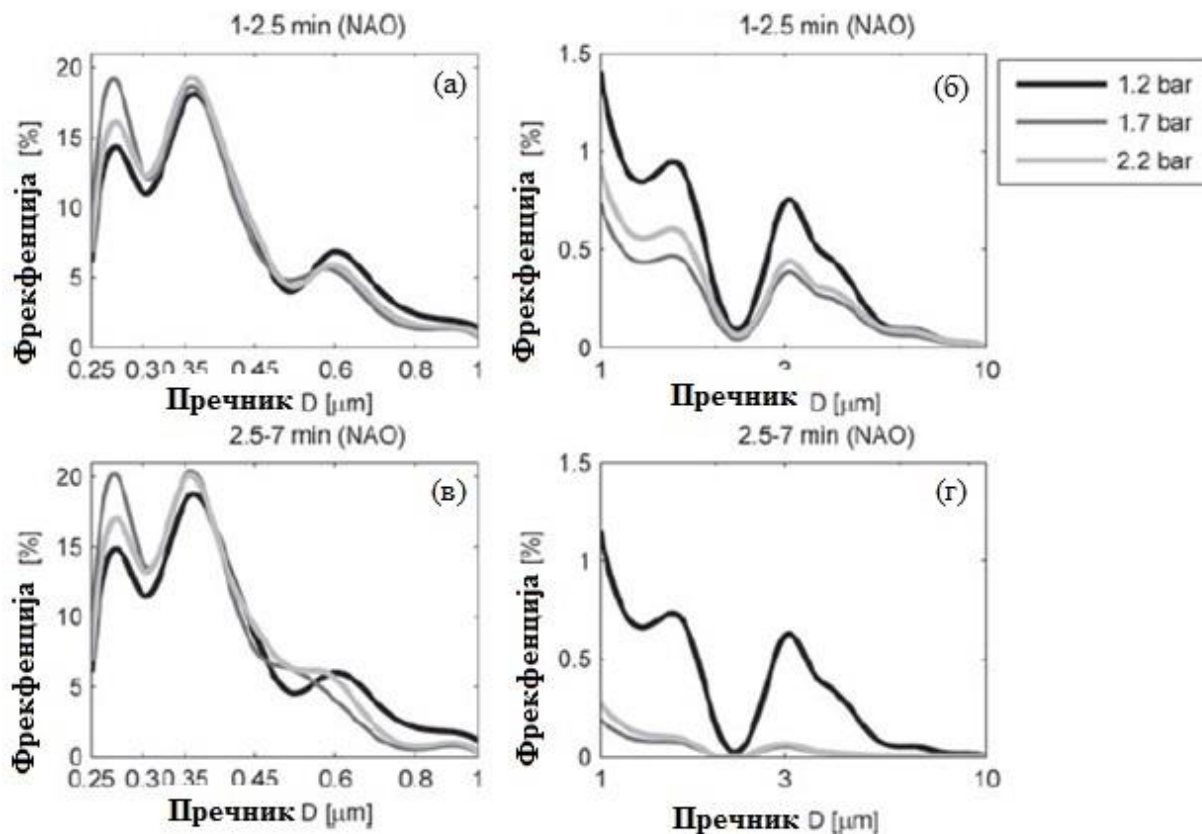
Сви тестови показују да је максимум 0,35 μm величина честица. *Mosleh* је показао величине честица које је сакупио на филтеру током теста “игла на диску” под другачијим условима теста [5].



Слика 37. Масена концентрација распршених честица (DustTrak) и концентрација честица (P-Trak). Два графика (а,в) са леве стране су за неазбесне кочне облоге (NAO), два графика (б,г) са десне стране су за кочне облоге са малом концетрацијом метала [5]

Препознатљив максимум код концентрација грубих честица може се приметити на свим испитивањима. Овај максимум је 5 пута већи од броја честица након максимума. Са примењеним притиском кочног цилиндра од 1,2 и 1,7 bar, кочни момент је био константан неких 20 s, а након тога се повећао на већи ниво који је био такође константан. Једно од тумачења ове појаве је да почетни равномерни момент кочења одговара периоду уклањања корозивног слоја са кочног диска. На крају теста за 2,2 bar кочни момент је био константан односно није се мењао. Стога ово мерење може да нам покаже време потребно да се оксидисани слој склони са кочног диска. Потребно је даље истраживање како би се истражио овај феномен.

Концентрација отпадних честица је иста и за неазбестне кочнице, као и за облоге са малом концентрацијом метала када се оксидирајући слој уклони. Међутим за фактор 2 је већи за облоге са малом концентрацијом метала након уклањања оксидирајућег слоја [5].

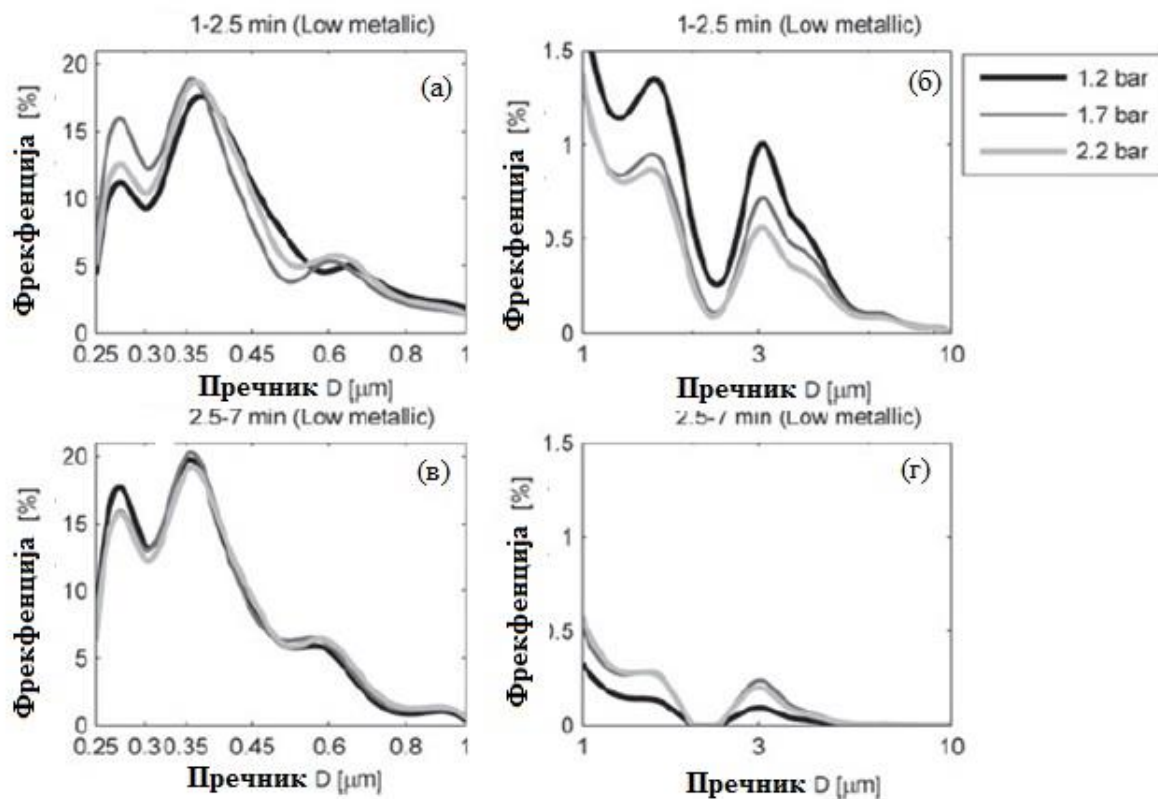


Слика 38. Нормализована расподела честица за кочне облоге са малом концетрацијом метала која је мерена GRIMM инструментом. Два графика (а,в) са леве стране су за ситне честице, док два графика са десне стране (б,г) су за грубе честице. [5]

Даљи тестови су потребни да би се потврдили ови резултати, али резултати се поклапају са резултатима теста “игла да диску” од *Söderberg* где се много агресивније кочне облоге са металним састојацима више хабају и производи више отпадних честица него код мекших кочних облога са неазбестним саставом. Ови резултати нам омогућавају да на основу овог теста можемо да рангирамо материјале по степену њиховог хабања о метални диск.

Осим тога, постоји максимална концетрација грубих фракција величине $3\mu\text{m}$ за средњу вредност хабања честица узету између 1 и 2,5 min за неазбестне кочне облоге (слика 38б и 38д). Пик на дијаграму постаје мањи после 2,5 min код свих тестова, осим код неазбестних кочних облога при притиску цилиндра од 1,2 bar. Ово може да значи да се корозивни слој са дискова није скинуо током теста (притисак кочног цилиндра није био довољан да би се скинуо са кочног диска). Стога, ови тестови могу са се користе да се истражи дужина клизања потребна да би се скинуо оксидирани слој при другим малим притисцима цилиндра ако други тестови покажу да појава отпадних честица и мерење кочног момента

имају везе са скидањем оксидирајућег слоја. Такође би било интересно да се кочни диск третира са путном сољу пре тестова [5].



Слика 39. Средња вредност величина честица хабања за неазбестне кочне облоге се мере преко GRIMM уређаја. Два графика (а,в) са леве стране су за fine честице, а два графика (б,г) са десне стране су за грубе честице [5]

Табела 12. Концентрација честица (10^8 честица m^{-3}) коришћене за нормализацију дистрибуције честица [5]

Притисак у цилиндру (bar)		Без азбеста		Мала конц. метала	
		1-2,5 min	2,5-7 min	1-2,5 min	2,5-7 min
1,2		1	1,5	1,9	1,7
1,7		0,8	0,9	1,4	1
2,2		1,4	1,6	1,9	1,6

Масена крива концентрације слика 37 измерена преко *DustTrak* инструмента је слична као код криве концентрације слика 36 измерене преко *GRIMM* инструмента. Облик криве концентрације честица за неазбестне кочне облоге (слика 36в) измерена преко *PTRAK* инструмента се поклапа по облику криве које је измерио *GRIMM* инструмент (дијаграм 35в). За кочне облоге са малом концентрацијом метала облик криве који се добио преко *GRIMM* уређаја (слика 36г) се не слаже са кривом која се добила преко инструмента *P-TRAK* (слика 37г). Ово се не може објаснити него да *P-TRAK* броји честице од 0,02 μm ,

Табела 13. Средња вредност концентрације честица преко *GRIMM* уређаја (10^9 честица m^{-3}) за интервале 1-2,5, 2,5-7 и 1-7 мин за неазбестне кочне облоге и за кочне облоге са малом концентрацијом метала док доња граница *GRIMM*-а је 0,25 μm .

Притисак у цилиндру (bar)		NAO			Мала конц. метала		
		1-2,5 min	2,5-7 min	1-7 min	1-2,5 min	2,5-7 min	1-7 min
1,2		5,6	8	6,8	10,2	8,7	9,5
1,7		4,1	4,6	4,3	7,5	5,2	6,3
2,2		7,4	8	7,7	10,4	8,2	9,3

Стога, *P-TPAK* ће регистровати честице које су мање од 0,25 μm . Напомена да *DustTrak* инструмент мери само масену концентрацију тако да мале честице неће имати велики утицај на укупну масу. Тако да се може упоредити са обликом криве концентрације грубих честица које мери *GRIMM* уређаја. Ниједан од инструмената не мери геометрију честица. У будућим тестовима честице ће се сакупљати у филтерима и прослеђивати за тестирање честица. После оваког испитивања се може видети колико ће честица потиче од кочног диска а колико од кочних облога.

Трење између кочног диска и кочних облога је битан фактор јер се користи за процењивање коефицијента трења. Да би се израчунало трење мора се знати пређени ефективни радијус кочних облога по кочном диску. Ефективни радијус је радијални пут који пређе кочна облога при чему на том путу делује истом силом и самим тим има исти кочни момент.

Ови експерименти се спроводе тако што се на кочне облоге примењује константан притисак. Било би интересантно да се тест прошири на повремена оптерећења кочних облога, што су реалистичнији услови које се могу наћи у саобраћају. Ово се може спровести ако се преко кочног цилиндра контролише притисак кочних облога и брзина обртања кочног диска. Валидност теста се може потврдити упоређивањем са тестом који је спроведен у реалним условима.

Ови тестови се могу користити да се утврди колико корозија која се ствара на кочним дисковима утиче на само кочење и честице које се стварају приликом хабања кочних

облога. Такође можемо да вршимо поделу величина честица. Сви тестови су показали да максимална величина честица је $0,35 \mu\text{m}$. Већина честица које са сакупила је била величине $1 \mu\text{m}$ [5].

9. Закључак

У раду је представљен проблем хабања кочних облога и њихов утицај на околину и самим тим и на људско здравље. После забране азбеста за који је доказано низ штетних утицаја на људско здравље произвођачи су приморани да користе различите материјале који немају велики утицај на човеков живот.

Емисија кочница игра значајну улогу у укупној емисији која потиче од друмског саобраћаја. Немачки агенција за заштиту животне указује да 21 Gg PM₁₀ годишње емисије потиче од кочница и пнеуматика, у односу на 76 Gg укупне вредности која се односи на друмски саобраћај. Допринос од фрикционих кочница настаје због хабања кочних ротора или добоша и фрикционих плочица или облога папуча. Иако је опасан утицај емисије од трења кочница на био-организме није до сада доказан, очекују се будући прописи да покрију укупну емисију возила укључујући и ону из трења кочница. Уз сталну еволуцију састава кочних плочица, све више и више сировина са потенцијалним опасним утицајем се користи у формулација фрикционих материјала и били су замењени новим састојцима да се надокнаде функционални утицаји и одржава корак са захтевима за безбедност, перформансе и удобност. Последица различитости супстанци додаваних током последњих година у односу на оригиналне фрикционе материјале, је висока комплексност емисије продуката хабања. Утврђено је да се честице емисије кочница налазе у микро распону за велику већину са веома малим масеним уделом честица које иду до величине испод микронске. Квантитативно мерење емисије кочница је тешко и сложено јер посматрани систем око кочнице нема дефинисане границе и не може бити затворен без међусобног утицаја са протоком честица које утичу на резултате мерења.

Удахнуте честице РМ се складиште у носу, грлу и изазивају иритације, док fine и ултраfine честице могу продрићи дубоко до плућа, изазивајући упале, стварање слободних радикала у телу и оштећује ДНК. Знајући шта све утиче на емисију честица и како измерити исту, могуће је систематски тражити начин за смањење емисије честица. Ово може да се спроведе на начин промене формулације кочних облога и промене физичких карактеристика кочних облога тако да праве мањи ударац на здравље.

Представљено је такође и низ стандардизованих експеримената и мерења која показују састав кочних облога као и величине честица које се ослобађају током процеса кочења при различитим режимима. Тестови спроведени на динамометру у *TU Ilmenau* су показали да овај динамометар омогућава лабораторијске услове за поновљиве тестове емисије кочних облога. У овим условима могуће је упоредити утицајне факторе на емисију кочница, формулацију кочница, историју претходних кочница и много других ствари. Такође су обухваћен тест игла на диску. Коефицијент хабања је одређен мерењем масе остатака од хабања игле подељено са притиском и укупном пређеном дистанцом. У овом тесту смо приметили да брзина клизања драстично не утиче на хабање кочних облога.

Почетак смањивања емисије кочница свакако почиње доношењем различитим законских регулативама. Најзначајнији су у Америци и Европи који су значајно допринели смањењу емисије. Даљем побољшању кочница и кочним облогама доприносе и разне конвенције и

истраживања које се спроводе на тлу Европе. Пре свега пројекат Кобра и *Lowbrasys*. *Lowbrasys* пројекат има за циљ да представи нови систем кочења који ће имати мањи утицај на животну средину и којим ће се смањити емисија нано честица за 50%. Мерење и разумевање микро честица и ултрафиних честица и њихов утицај на здравље и окружење биће побољшано. Кобра пројект ће демонстрирати потпуно нову технологију у производњи кочних облога која ће бити базирана на иновативном хидрауличном везиву уместо на бази фенол смола, при чему се постижу компаративне кочне перформансе.

Литература

- [1] D. Chan, G. W. Stachowiak, “Review of automotive brake friction materials”, School of Mechanical Engineering, University of Western Australia, Crawley, Australia, 2004
- [2] M. Mosleh, P. J. Blau, D. Dumitrescu, “Characteristics and morphology of wear particles from laboratory testing of disk brake materials”, Department of Mechanical Engineering, Architecture and Computer Sciences, College of Engineering, Howard University, 2003
- [3] Measurement of brake wear emissions by the engine exhaust particle sizer (EEPS) spectrometer and optical particle sizer (OPS), TSI.Inc
- [4] H. Sachse, K. Augsburg, V. Ivanov, C. Trautmann, F. Egenhofer, “An approach to lower the particle emission of friction brakes on vehicles”, Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, Germany, 2014
- [5] J. Wahlström, A. Söderberg, L. Olander, U. Olofsson, “A disc brake test stand for measurement of airborne wear particles”, Royal Institute of Technology, Machine Design, Stockholm, Sweden, Royal Institute of Technology, Building Services Engineering, Stockholm, Sweden, 2009
- [6] R. Ciudin, P. C. Verma, S. Gialanella & G. Straffelini, “Wear debris materials from brake systems: environmental and health issues”, Department of Industrial Engineering, University of Trento, Italy, 2014
- [7] Интернет страница: <http://www.eurobrake.net/>, приступљено 5.09.2016 год.
- [8] Интернет страница: <http://www.lowbrasys.eu/>, приступљено 8.09.2016 год.
- [9] Интернет страница: <http://www.cobralifeproject.eu/>, приступљено 8.09.2016 год.
- [10] Интернет страница: <http://www.acproduct.rs/>, приступљено 4.10.2016 год
- [11] Каталог кочних дискова Open Parts
- [12] Интернет страница: <http://www.textar.com/>, приступљено 25.08.2016 год
- [13] 38th UNECE IWG PMG meeting, Non – exhaust particle emission, Joint research the european commissions in house science service
- [14] Road traffic brake wear ,Netherlands national water board - water unit in cooperation with Deltares and TNO
- [15] Интернет страница: <http://www.ecy.wa.gov/>, приступљено 25. 08. 2016 год.

- [16] Интернет страница: <https://www.dtsc.ca.gov/>, приступљено 25. 08. 2016
- [17] P. J. Blau, "Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives", Oak Ridge National laboratory, 2001.
- [18] Интернет страница: <http://www.federatedautoparts.com/>, приступљено 18.08.2016 год.
- [19] Интернет страница: <http://www.zdravstveni.com/> , приступљено 13.10.2016 год.
- [20] Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, ASTM G99 - 05(2016)
- [21] Wear Test Procedure on Inertia Dynamometer for Brake Friction Materials, SAE J2707_201210
- [22] И. Гржетић, Суспендоване и респирабилне честице у урбаним срединама, Хемијски факултет – Хемија животне средине – Основи хемије атмосфере и загађивачи ваздуха, скрипта
- [23] Интернет страница: http://cordis.europa.eu/result/rcn/170899_en.html, приступљено 05.11.2016 год.