

ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

„Уређај за испитивање буке диск кочница“

Аутори техничког решења

- *мр Јасна Глишовић, асистент*
- *др Мирослав Демић, ред. проф.*
- *др Јованка Лукић, ред. проф.*
- *мр Драган Тарановић, асистент*
- *др Радивоје Пешић, ред. проф.*
- *др Данијела Милорадовић, доцент*
- *мр Александар Давинић, асистент*

Наручилац техничког решења

- Од идејног решења, преко израде, до пробних испитивања и пуштања у рад, уређај је урађен у оквиру истраживачких активности пројекта Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије-ТР 35041 и дисертације мр Јасне Глишовић, урађене под менторством др Јованке Лукић, ред. проф. Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

Корисник техничког решења

- Факултет техничких наука Универзитета у Крагујевцу, ВУЛОВИЋ ТРАНСПОРТ доо

Година када је техничко решење урађено

- 2012

Област технике на коју се техничко решење односи

- Машинство, Моторна возила, према међународној класификацији производа и услуга техничко решење припада класи 42 (Научне и технолошке услуге и истраживање и пројектовање у вези наведених услуга и услуге индустријске анализе и истраживања).

1. Опис проблема који се решава техничким решењем

Најчешћи узрок амбијенталне буке је друмски саобраћај и њом је погођено више од половине популације. Преко 90 % буке проузроковане друмским саобраћајем у Европи је неприхватљивог нивоа. Са порастом саобраћаја, питање буке може негативно да утиче на транспорт и економски развој. Код свих друмских возила основни и независни узроци буке потичу од погонског агрегата, буке настале у контакту пнеуматика и тла и опструјавања ваздуха. Аутомобилске кочнице су се у интензивно развиле током последњих деценија. Геометријски простор који је на располагању за уградњу кочнице на возилу је међутим значајно ограничен димензијама точка, тако да је то наметнуло потребу конструисања нових облика кочница и нека од тих нових решења су подложнија генерисању нежељене буке. Током овог периода снага погонског агрегата и максималне брзине кретања возила значајно су се повећале, а самим тим и кинетичка енергија коју треба пригушити у кочницама. Већи део кинетичке енергије возила које се креће се претвара у топлоту кроз трење. Али мали део кинетичке енергије се претвара у звучну енергију и ствара буку. Кочницу која шкрипи је тешко и скупо поправити. Боље је проблем буке решити још у фази конструкције кочница [1].

Последњих деценија није се знатно повећала само снага мотора, већ и очекивања у погледу комфора. Ово значи да нивои буке, а посебно буке кочница, који су били прихватљиви пре 20 или 30 година, више се не толеришу од стране модерних корисника. Бука и вибрације су постали значајно питање при конструкцији кочних система моторних возила. Напори да се побољшају данашњи кочни системи морају да узму у обзир и проблеме буке и вибрација. Добро познавање механизма настанка буке кочница на овај начин је постало важан фактор у надметању у конструкцији кочних система.

Бука диск кочнице је проблем који заокупља произвођаче кочних компоненти и аутомобила. Она може да се опише као иритирајући звук чија је основна учестаност између 1 и 20 kHz, и коју генеришу кочне компоненте. Она се претежно ствара при ниским брзинама (испод 30 km/h) и при ниским кочним притисцима (притисак у кочној инсталацији испод 20 bar). Типична ситуација када се јавља шкрипећа бука (eng. *squeal*) је заустављање на црвеном светлу семафора или при паркирању. Корисници верују да кочница која шкрипи указује на лош квалитет и поузданост возила. Овај утисак повећава трошкове гаранције. Гарантни трошкови због проблема буке и вибрација кочница (*NVH*) су недавно процењени на око 1 милијарду долара годишње само за аутомобилску индустрију северне Америке. Још важније, незадовољство корисника може да доведе до губитака у будућем пословању [2].

2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења

И након значајног обима теоретских и експерименталних истраживања током периода од приближно педесет година, истраживачи су далеко од коначне сагласности у вези механизма настанка шкрипе кочница. Међутим, сигурно је да силе трења условљавају нестабилност у систему диск кочнице, што доводи до појаве буке. Настанак нестабилности је објашњаван углавном један од три основна начина, наиме, променом карактеристика трења са брзином кретања возила, променом релативне оријентације диска и фрикционих облога и на тај начин појава модификације силе трења, што води дивергенцији нестабилности, и пулсирајућим типом нестабилности чак и са константним коефицијентом трења. Различити модели су конструисани од стране истраживача како би се оправдале њихове тврдње. Ови модели су често теоријски и тешко је пратити њихов значај за физички изведене кочне

системе. Упркос великом уложеном раду истраживача широм света, још није усвојен опште прихваћен математичко-механички модел за анализу шкрипе кочница. Ово није добро јер произвођачи кочница улажу велика материјална средства на модификацију прототипова кочница како би оне функционисале без шкрипе. Због неприкладности одговарајућих компјутерских модела и алата, они обично морају да чекају на прве прототипове пре него што буду у стању да посвете већу пажњу смањењу буке код конструкције било које нове кочнице. Експерименталне студије су акумулирале велику количину информација о природи шкрипе, модovima вибрација у њему, хабању кочних компонената, и фрикционој интеракцији у кочницама. Кроз спроведено експериментално истраживање се осим верификације нумеричких модела остварује и провера метода елиминације шкрипе кочница.

Експерименталне методе истраживања високофреквентне шкрипе диск кочница могу се према *месту испитивања* поделити на: путна испитивања и лабораторијска испитивања.

Најпознатији тестови за истраживање буке кочница у путним условима су Лос Анђелес тест у градским условима (енг. *LACT-Los Angeles City Traffic*) у САД и *Mojarcar* тест у Европи. Дужина Лос Анђелес теста је уобичајено 5000 миља или 8000 km. Вози се просечно 250 или 400 km по дану. Неки тестови могу да трају мање више данима, а укупно око 20 дана. У просеку, број кочења током 1 миље је 4 до 5. Овде постоји нешто чешћа примена кочница него у нормалним условима градског саобраћаја. Као резултат дугогодишњег искуства, овај тест је прихваћен једногласно међу произвођачима аутомобила и њиховим снабдевачима у САД. Ови тестови возила могу у потпуности да процене стварне перформансе кочница у погледу буке и веома су репрезентативни у погледу начина доживљавања буке од стране корисника возила. Међутим, сви ови тестови буке на возилу су скупи, захтевају пуно времена, и одвијају се обично сувише касно да би утицали на конструкцијске измене, ако се детектује бука кочнице на тестираном возилу.

Зато су познати произвођачи кочница развили лабораторијске динамометарске тестове који могу да скрате развојни циклус у погледу буке кочница и пруже тачне и објективне статистичке податке за процену перформанси кочница у погледу буке. Резултати из лабораторије могу се искористити тако да се брзо утиче на конструкцијске измене како би се оптимизирале перформансе буке кочница. Циљ динамометарских тестова буке кочница је да репродукују услове и буку која потиче од кочница на возилу у току кретања. Било је много различитих приступа овом задатку, али модерни кочни динамометри имају релативно сличан концепт и начин рада. Тренутна конструктивна решења могу се поделити у две основне врсте. Постоји динамометар типа кочнице или вратила где се склоп кочнице погони вратилом. Друга категорија је динамометар типа шасије, где се гоњени точак користи за погон пнеуматика, који затим преноси погон склопу кочнице. Која год метода се користи, циљ је достићи инерцију возила што је могуће ближе реалној како би се осигурала прецизна реконструкција заустављања. Прецизно поклапање ће обезбедити да се тестирање кочница оствари при истим моментима, зауставном времену, температури, броју обртаја као што се то дешава на возилу[3].

Наравно, у динамометрским тестирањима шкрипе морају се користити исте кочне компоненте као оне на возилу. Проблем је у дефинисању колико далеко ова подударана морају да иду. Постоји јасна сагласност да главни елементи кочног хардвера морају бити исти. Ово обухвата кочне плочице или папуче, стегу, диск или добош, као и све њихове компоненте.

Контроверза се јавља када се говори о утицају остатка возила. Неки истраживачи сматрају да је неопходно да се обухвати утицај целог система еластичног ослањања, као и пнеуматика и точкава који су везани за кочницу. Изводе се са пнеуматиком који се котрља на површини уз реална оптерећења као на возилу. Генерално постоји сагласност да је то неопходно за нискофреквентну буку. Међутим, за високофреквентну буку, као што је шкрипа, није потпуно јасно да ли је то неопходно. Захтев за котрљање пнеуматика на површини при реалним оптерећењима возила захтева велике промене у конфигурацији динамометра [4].

Окружење у коме ради кочница такође је важно за репродукцију буке на возилу. Оно обухвата како акустичко окружење, тако и услове средине. Акустички, окружење у коме се возило креће на путу мора бити репродуковано. То значи слободно акустичко поље изнад равни одбијања-рефлексије. На учестаностима које су од значаја, површина пута делује слично као раван одбијања. Иначе, енергија звука кочница може слободно да зрачи са малом импедансом у свим осталим правцима. За апроксимацију слободног акустичког поља у коме се возило креће, зидови мерног подручја су од акустички апсорбујућих материјала. Материјали који се користе састоје се од тепиха од стаклених влакана, минералне вуне, и акустичне пене. Како је раније утврђено да се шкрипа кочница јавља при учестаностима већим од 1000 Hz и више, апсорпција ових материјала је најважнија изнад 1000 Hz. Добар приступ је одржавати коефицијент апсорпције на 0,8 или више изнад 500 Hz. Ово мерно окружење ће имати под од челика, бетона или друге акустички рефлексивне површине. Овакви подови треба да постигну апроксимативне акустичке карактеристике стварних путева [3].

Да би се обезбедио довољно низак ниво позадинске буке за откривање шкрипе, зидови ове просторије су такође дизајнирани да пруже високе губитке у преносу звука. Обично ове собе обезбеђују ниво звука у позадини испод 50 dB (A). Конструкција са дуплим зидом се користи за постизање губитака у преносу звука неопходних да би се осигурао довољан губитак преноса. У фреквентном опсегу од значаја, могу се постићи губици преноса звука од преко 30 dB. Као и код било које звучне оgrade, од кључног је значаја да се обрати посебна пажња на бочне путање и заштитке на улазним вратима. Уколико је кућиште повезано са структуром динамометра или лабораторијског пода на коме звучна и вибрациона опрема ради, сав рад пажљивог дизајна просторије може бити упропашћен [5,6,7].

Реализовани кочни динамометри на тржишту могу да коштају између \$250,000 (коришћени) до више од \$1 милиона. Из овог разлога неки произвођачи кочних компоненти поседују сопствене динамометре, док их неки изнајмљују од овлашћених лабораторија.

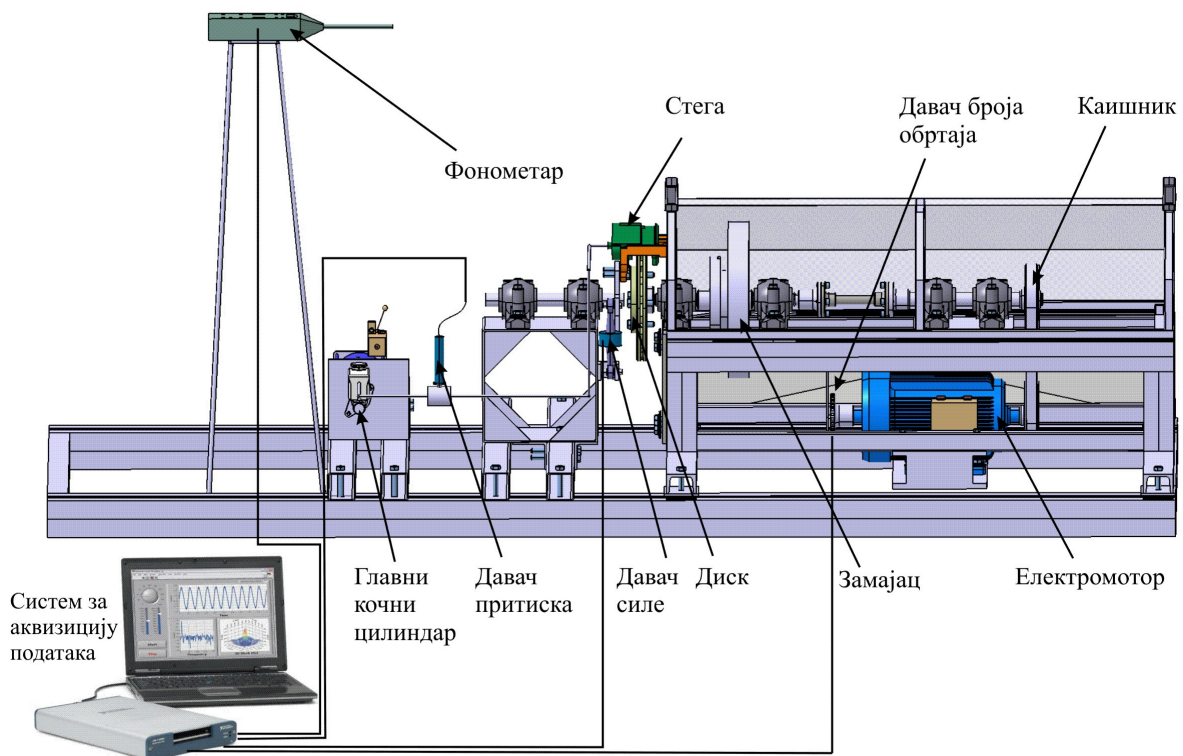
3. Суштина техничког решења

Кочни динамометар за испитивање буке диск кочница развијен у Лабораторији за испитивање мотора СУС на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу током израде докторске дисертације мр Јасне Глишовић је приказан на слици 1. Захваљујући диску на ротирајућој осовини чији момент инерције је еквивалентан линеарној инерцији возила, могуће је обухватити утицај инерције возила и тиме обезбедити стабилнији рад при ниским брзинама које су релевантне са аспекта буке кочница.

Да би се схватила склоност ка појави шкрипе, важно је прикупити велики број експерименталних резултата. Пре свега се морају добити подаци о буци. У овом случају то је једноставно прикупљање података са једног микрофона.

Такође је неопходно тачно представити услове окружења под којима ради кочница. Ово може да обухвати температурске услове и услове релативне влажности. Савременији модели динамометра пружају могућност да се контролишу ови параметри. Проблем који се често појављује је оно што се зове „јутарња мучнина“. Ово стање се јавља када се возило остави напољу преко ноћи у јесен и зими. Влажност расте преко ноћи, и ујутро може бити већа од 90 %. У исто време, температура може пасти на температуру близу замрзавања или испод. Ови услови ниске температуре и високе влажности често подстичу шкрипу. У неким случајевима, купци доживљавају буку по овом сценарију, када то није уочљиво под било којим другим радним условима [3].

Критични део динамометарског система је управљање и систем за прикупљање података. Потребан је софистицирани систем управљања за постизање жељених услова рада и одговарајућих захтева текуће тест процедуре. Од система управљања и контроле се захтева да прати захтев за управљање кочним притиском, успорењем, или кочним моментом. Такође могу постојати протоколи подешавања жељене температуре и промене притиска, брзине, или других фактора током процеса заустављања [3].



Слика 1 Кочни динамометар развијен у оквиру дисертације

За представљање стварних радних услова и брзине возила, прелаза између тестова, обично се обезбеђује хлађење ваздухом склопа кочнице на динамометру. Током нормалног рада кочница на возилу, нарочито при већим брзинама, постоји ток ваздуха преко кочнице који обезбеђује значајно хлађење. Поред тога, када су почетне температуре кочница (енг. *Initial Brake Temperatures - IBT*) дефинисане, хлађење ваздухом омогућава брже циклусе између тестова. На пример, када је дефинисана почетна температура 50 °C, наредни тест може бити

на почетној температури од 75 °C. На жалост, тест са 50 °C може да загреје кочницу на температуру од преко 200 °C. Може се једноставно чекати да се кочница охлади као резултат природне конвекције или да се, користећи ток ваздуха за хлађење, охлади кочница на 75 °C за само неколико минута.

Током теста буке, важно је снимити све радне услове кочнице да би се правилно разумело шта се дешава када дође до буке. Обично ће ово укључити мерење кочног притиска, једну или више температура, брзину, ниво звучног притиска и амплитуде вибрација.

Реализовано техничко решење уређаја за испитивање кочница на Факултету техничких наука Универзитета у Крагујевцу омогућава истраживање не само буке кочница, већ и праћење свих карактеристика ефикасности кочних механизма, као и утицајних параметара на триболошке карактеристике фриксионих материјала кочних облога реалних кочница путничких возила и аутобуса.

4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже)

Ради прегледности инсталација је приказана из више функционалних целина:

- испитни сто са погонским агрегатом, преносником снаге и диском,
- електро-енергетска инсталација,
- инсталација за активирање диск кочнице тј. за остваривање кочног момента и
- мерна опрема.

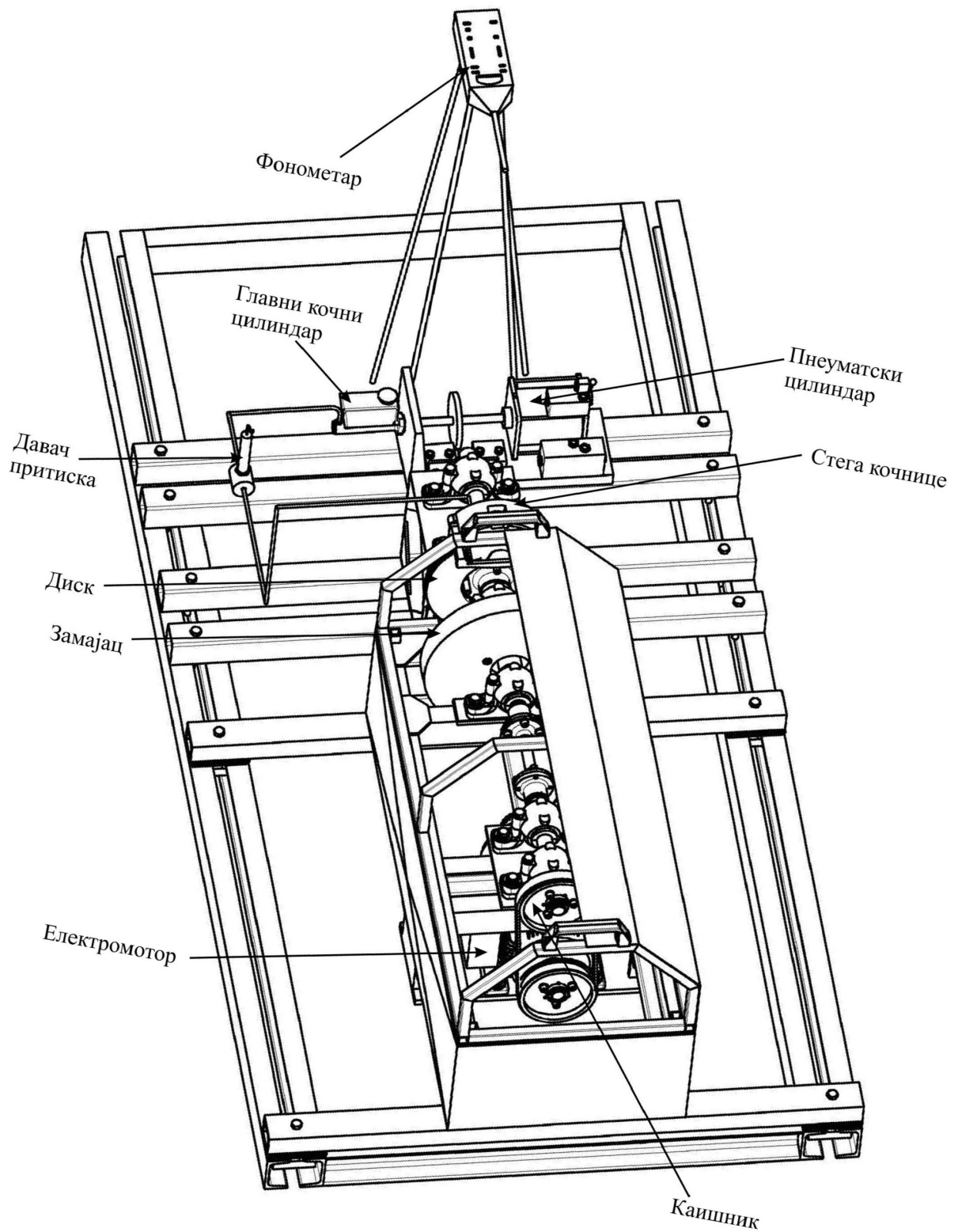
Детаљни модел кочног динамометра са мерном опремом је урађен у софтверском пакету САТИА. На основу 3Д модела извршена је израда техничке документације неопходне за реализацију изведеног техничког решења. Шематски приказ пројектоване мерне инсталације за испитивање високофреквентне буке диск кочница дат је на слици 2.

4.1 Испитни сто са погонским агрегатом и диском

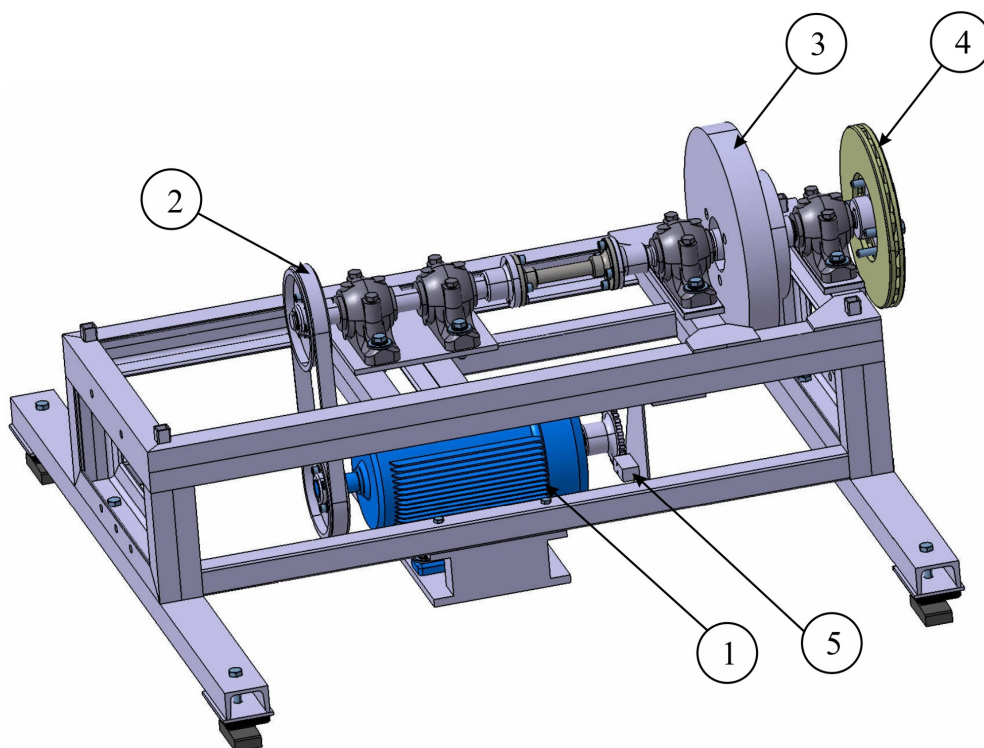
Погонски агрегат је електромотор "СЕВЕР" Суботица номиналне снаге од 4 kW при 2830 о/мин. Обртни момент погонског вратила на месту његовог мерења, укључујући динамичку компоненту, не сме бити већи од мерног опсега давача момента. Број обртаја погонског вратила је континуално променљив у распону $n=600\div 3000$ о/мин са стабилношћу $\Delta n < \pm 2\%$ на задатом режиму, уз максималну неравномерност $\delta_{\max}=1/30$.

Погонски агрегат смештен је на круто везаном постољу. Погонски блок чине: асинхрони електромотор напајан фреквентним регулатором (1), каишни фриксиони преносник са преносним односом 1 (2), замајна маса (3), диск кочнице (4) (слика 3). Давач броја обртаја (5) је постављен на слободном крају вратила електромотора.

Замајна маса на погонском вратилу је диск пречника 0,35 m, ширине 0,045 m и масе 35 kg. Момент инерције замајне масе је 0,54 kgm² и одговара кинетичкој енергији испитиваног возила, при мањим почетним брзинама које су критичне са аспекта учестане појаве шкрипе.



Слика 2 Шематски приказ пројектоване мерне инсталације за испитивање високофреквентне буке диск кочница



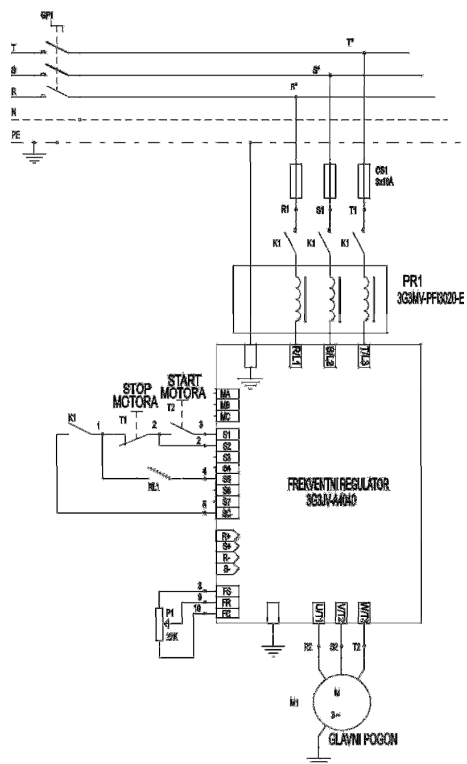
- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1 – Асинхрони електромотор | 2 – Каишни фрикциони преносник |
| 3 – Замајна маса | 4 – Диск кочница |
| 5 – Давач броја обртаја | |

Слика 3 ЗД модел погонског блока пројектоване инсталације

4.2 Електро енергетска инсталација

Испитивање високофреквентне шкрипе диск кочница се врши у опсегу од 250 до 1000 о/min, па је неопходна регулација броја обртаја погонског агрегата. Као погонски агрегат изабран је трофазни асинхронни мотор. Регулација броја обртаја асинхроног мотора се врши помоћу фреквентног регулатора који генерише напајање мотора трофазним напоном од чије учестаности зависи број обртаја мотора. Број обртаја мотора може се задавати ручно, помоћу потенциометра, или помоћу рачунара.

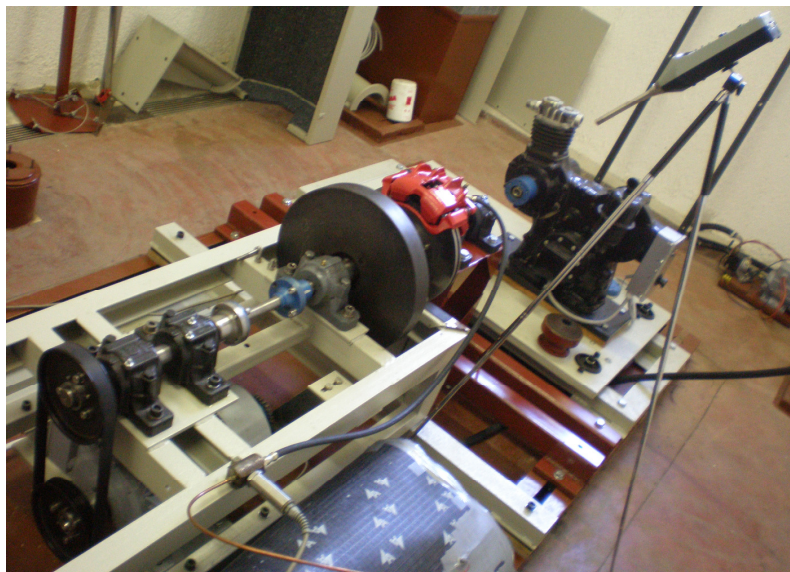
Фреквентни регулатор омогућава истовремену контролу максималне јачине струје и момента мотора, „меки“ старт и потпуну заштиту мотора. Генерисање погонског напона мотора се врши ширинском импулсном модулацијом. Како је овај процес извор јаких електромагнетских сметњи, на регулатору су уграђени улазни и излазни филтери шума. Блок шема електро погона са фреквентним регулатором приказана је на слици 4.



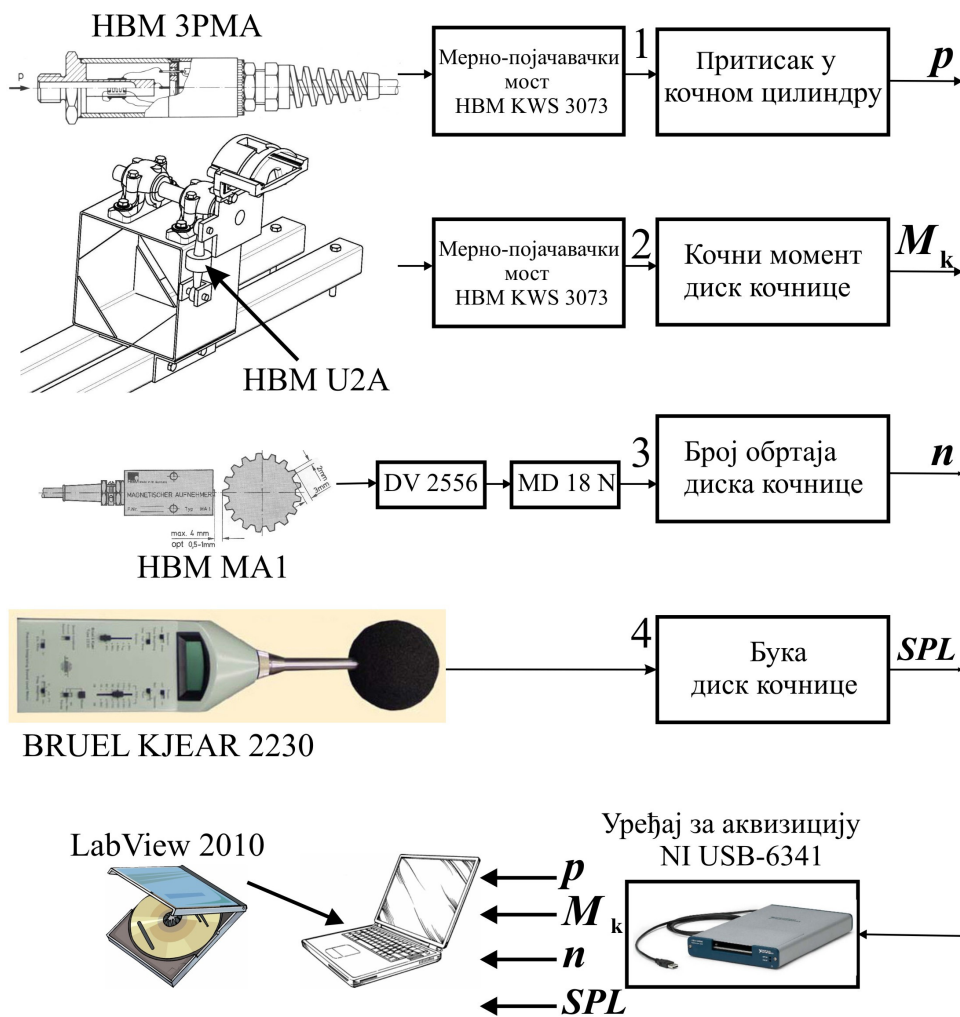
Слика 4 Блок шема електро погона са фреквентним регулатором

4.3 Мерна инсталација

Компоненте формираног мерног ланца за снимање притиска у кочном цилиндру диск кочнице, p , кочног момента, M_k , броја обртаја диска кочнице, n , и нивоа звучног притиска, SPL , при раду испитиване кочнице у лабораторијским условима, као и начин повезивања појединих компоненти приказане су на фотографији 5 и блок шеми на слици 6.



Слика 5 Фотографија изведене мерне инсталације за истраживање буке кочница

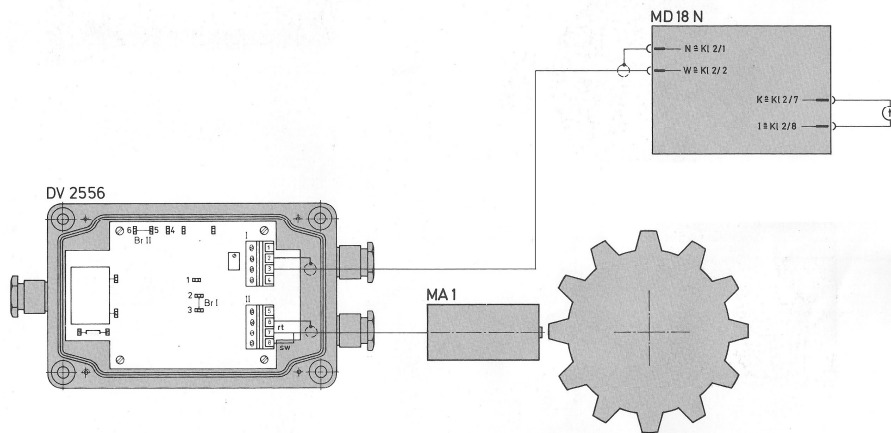


Слика 6 Блок шема мерног ланца на опитној диск кочници

4.4 Мерење броја обртаја диска

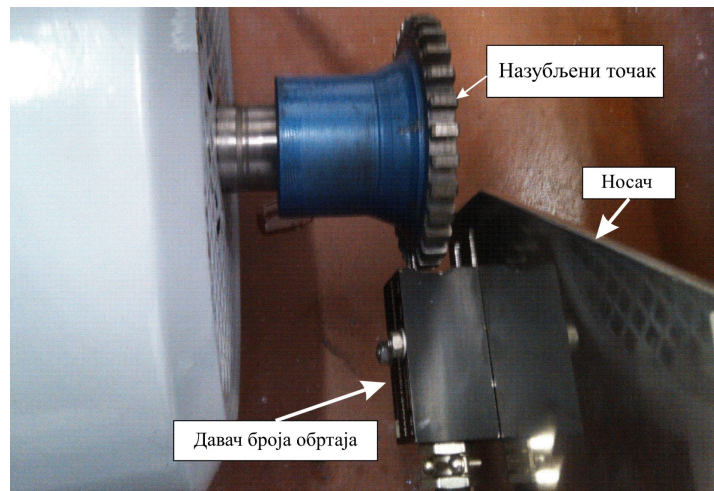
На слици 7 дат је шематски приказ мерног ланца за мерење броја обртаја кочног диска коришћењем магнетног бесконтактног импулсног давача броја обртаја. Назубљени точак је чврсто везан за вратило електромотора. На точку се налази 30 зуба који су правилно распоређени по обиму точка. Наспрам точка је постављен носач давача броја обртаја, који је причвршћен за рам. Уграђени давач даје мерни сигнал који се уводи у MGT 18.MZ.GR.D4 мерни мост намењен за мерење обртног момента, броја обртаја и снаге. Основне компоненте мерног моста су: мерни појачавач обртног момента и број обртаја MD 18 N, мултипликатор и бирач граничних вредности MZ 36 GR и дигитални показивач DA 24. Мерни сигнал се затим уводи у А/Д конвертор, а потом на систем за регистровање и обраду где се снима у реалном-временском домену. Обртно кретање се са вратила електромотора преноси преко каишника са преносним односом 1, тако да је број обртаја диска кочнице идентичан броју обртаја вратила електромотора.

Током тест процедуре за испитивање шкрипе кочница испитује је диск кочница са вентилираним диском пречника 266 mm која се уграђује на возила са пнеуматиком чији је динамички радијус 260 mm. Диск кочница има пливајућу стегу која омогућава да се целокупан реактивни кочни момент пренесе преко давача оптерећења на носећу структуру. Пречник кочног цилиндра у стежи је 54 mm, док је пречник главног кочног цилиндра 19,05 mm. Опсег брзине кретања испитиваног возила на почетку процеса кочења се крећу од 25 до 80 km/h, док се одговарајући број обртаја диска креће од 255 до 820 o/min.



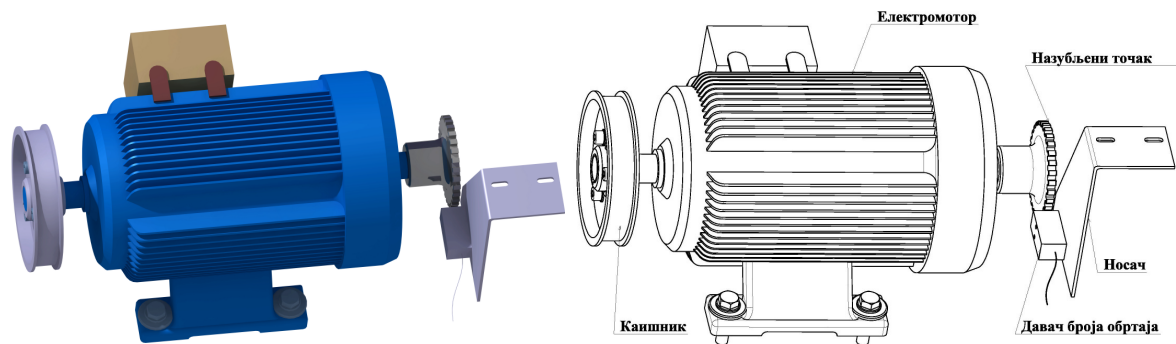
Слика 7 Компоненте мерног ланца за мерење броја обртаја кочног диска [9]

Фотографија на слици 8 приказује уградњу давача броја обртаја фирме НВМ на вратилу електромотора.



Слика 8 Уградња давача броја обртаја фирме НВМ

Приказ начина уградње давача броја обртаја за мерење броја обртаја диска кочнице је дат на слици 9 (3Д модел и шематски приказ).

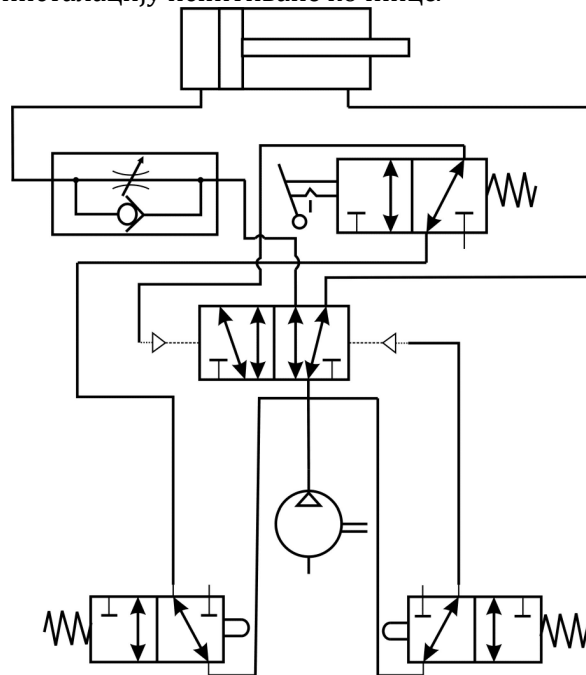


Слика 9 3Д модел и шематски приказ уградње давача броја обртаја фирме НВМ

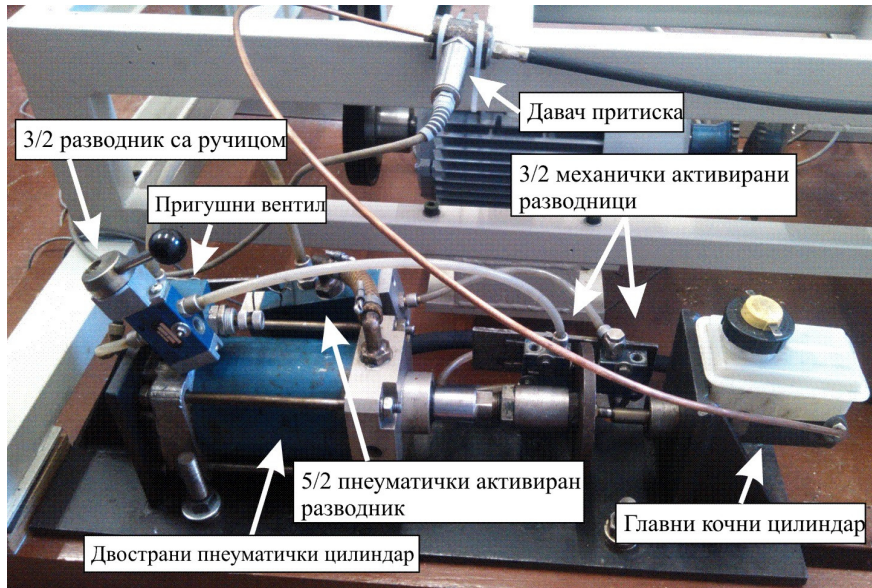
4.5 Мерење кочног притиска

На испитиваној кочници је примењен хидростатички систем код кога се сила активирања на главном кочном цилиндру остварује преко пнеуматичког система са двосмерним пнеуматичким цилиндром, чији је шематски приказ дат на слици 10. Формирани притисак ствара на клиповима, односно клипњачама, кочних цилиндара силу која активира кочницу. Опсег промена кочног притиска активирања диск кочнице у току овог испитивања је од 0,5 од 3 МПа, што одговара кочењу малим интензитетом при коме постоји велика вероватноћа појаве шкрипе кочница.

Конструктивна ограничења онемогућавају уградњу давача апсолутног притиска *P3MA* директно у кочни цилиндар диск кочница. Уз помоћ посебно изведеног адаптера, давач је уграђен у непосредној близини кочног цилиндра, под претпоставком да на овом кратком растојању постоји занемарљиво мали пад притиска. На слици 11 дата је фотографија уградње давача *P3MA* у инсталацију испитиване кочнице.



Слика 10 Шема пнеуматичке инсталације за активирање главног кочног цилиндра

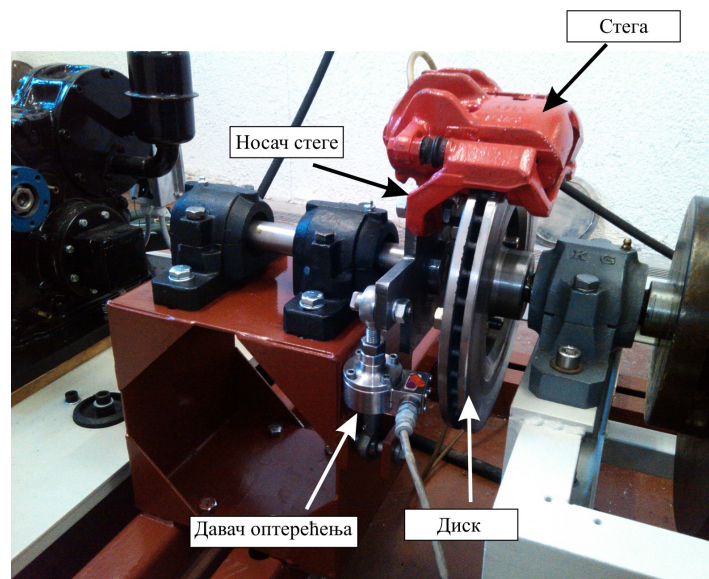


Слика 11 Уградња давача притиска РЗМА у кочну инсталацију

4.6 Мерење кочног момента

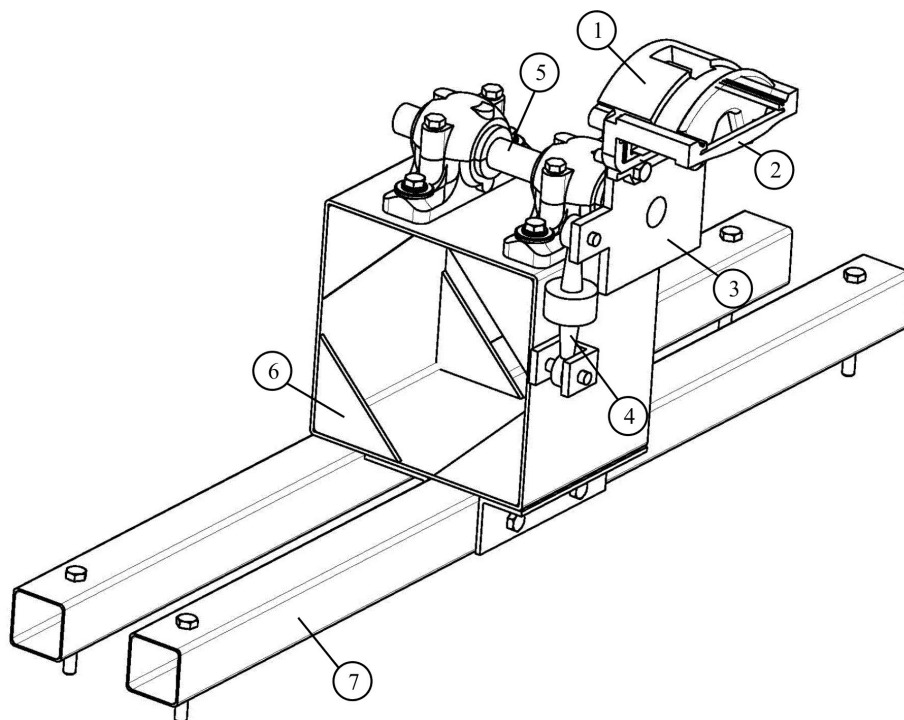
Током процеса кочења, сила активирања, настала дејством притиска кочне течности у кочном цилиндру, аксијално помера клип, што доводи спољашњу плочицу у контакт са диском. Развија се кочни момент који тежи да успори диск. Истовремено делује и реактивни кочни момент који се преноси на носач плочица тежећи да га заокрене у смеру ротације. Поменути реактивни момент, који је по интензитету идентички једнак кочном моменту, преноси се непокретни део стеге који је везан за носећу структуру возила.

Фотографија уградње давача оптерећења $U2A$ у лабораторијску мерну инсталацију дата је на слици 12.



Слика 12 Уградња давача оптерећења за мерење кочног момента

Идејно решење за мерење кчног момента приказано је на слици 13. Целокупна вредност реактивног кчног момента којом диск делује на стегу, преноси се у току кочења са носача стеге (2) на плочу (3) за коју је везан горњи део давача оптерећења (4). Кочни момент тежи да заокрене плочу (3) око осе која је коаксијална са осом диска. Плоча (3) је конструисана тако да може да се заокреће око осе вратила (5) које је улежиштено уз помоћ два котрљајна конусна лежаја који се налазе у кућиштима која су завртњима везана за горњу површину кутијастог кућишта (6). Крак на коме делује сила која истеже давач је 100 mm. Носач стеге је везан за плочу са два завртња (исти завртњи који се користе за везивање носача стеге за носећу структуру на возилу). Доње седиште зглоба давача оптерећења (4) је израђено од *U* профила који је везан за кутијасто кућиште (6) које је нераздвојиво спојено за попречни профил (7). Давач оптерећења је постављен у равни паралелној са диском кочнице. Основни услов за тачност добијених резултата је да је давач оптерећења напрегнут искључиво од поменутог реактивног момента, што је утврђено у току процеса калибрисања.



1 – Стега диск кочнице
4 – Давач оптерећења
7 – Попречни профил

2 – Носач стеге
5 – Вратило

3 – Плоча
6 – Кутијасто кућиште

Слика 13 Идејно решење за мерење кчног момента преко давача оптерећења

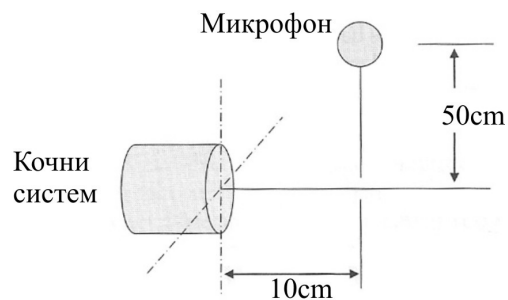
4.7 Мерење буке кочнице

За мерење високофреквентне шкрипе диск кочница коришћен је прецизни интеграциони мерач нивоа звука-фонетар типа *Bruel&Kjaer* 2230, који ради са микрофоном фирме *Brüel&Kjær* тип 4155. Овај инструмент је идеалан за све врсте мерења нивоа звука, укључујући и октавну и 1/3 октавну фреквентну анализу помоћу сета филтера. Давач врши пет врста мерења паралелно: *SPL* (ниво звучног притиска), *Max*, *Min*, *L_{eq}* (ниво звучног притиска осредњен по времену мерења) и *L_{EA,T}* (ниво изложености звуку). При мерењу је на

располагању избор два начина мерења (*RMS* и *Peak*), 3 временске оцене (*Slow*, *Fast*, *Impuls*), 4 фреквентне оцене (*A*, *C*, *Lin* и *All pass*) [8].

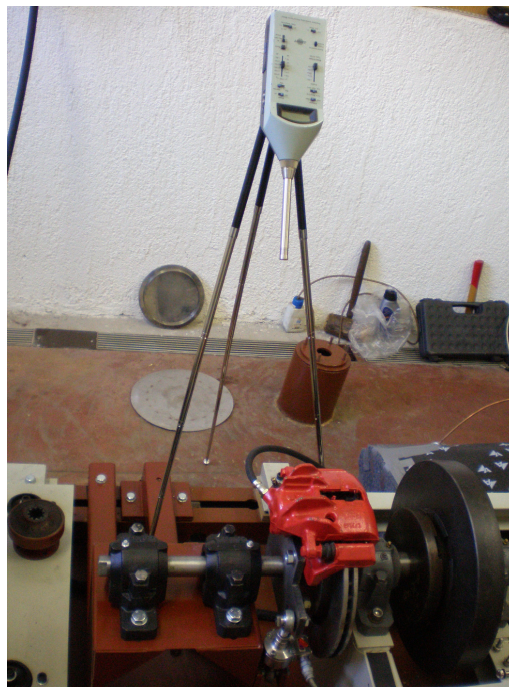
Локација микрофона (слика 14) према процедури *SAE J2521* [10,11]:

- 10 cm у односу на спољашњу површину наплатка точка дуж осе осовине,
- 50 cm изнад и нормално у односу на осу осовине.
- ниво звучног притиска мора да се мери и чува током трајање сваког теста кочења.
- шкрипа се јавља на нивоу звучног притиска ≥ 78 dB за учестаности од 1 до 20 kHz за диск кочице.
- трајање мерења буке је исто као и трајање теста кочења.



Слика 14 Оријентација микрофона [10]

Фотографија уградње фонометра је дата на слици 15.



Слика 15 Мерење високофреквентне буке диск кочице

4.8 Приказ мерних резултата

Матрица експерименталних истраживања се може поделити на два дела: а) обезбеђивање нумеричких вредности неких улазних параметара нумеричког модела кочнице и б) верификација теоријских модела за предвиђање појаве. Први део анализе је посвећен одређивању кинетичких коефицијената трења, који се затим могу користити у нумеричким моделима. Користи се једноставан математички модел да би се добила основна формула за кинетички коефицијент трења. У наставку се приступа процесу доказивања да развијени модели адекватно представљају динамичко понашање реалне структуре склопа диск кочнице.

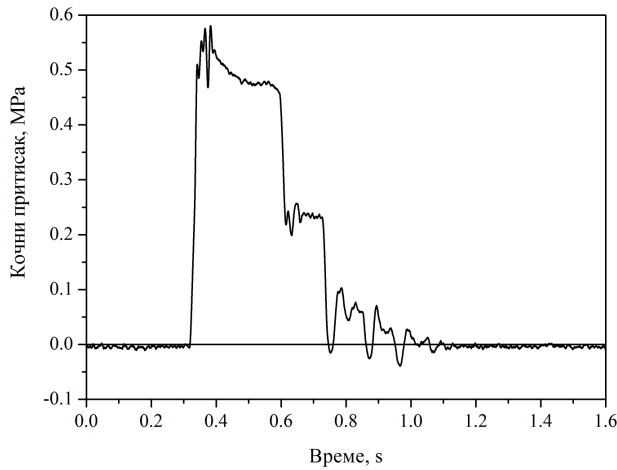
Анализа се може вршити у оба домена: временском и фреквентном. Прво се изводи истраживање осцилаторних и звучних феномена кочних механизма и утврђује њихов утицај на ефикасност кочења. Основни показатељ ефикасности кочења је кочни момент и важно је утврдити да ли се појаве шкрипе и опадање ефикасности кочења налазе у корелацији. Анализа стабилности се врши у фреквентном домену и циљ је одредити учестаности нестабилности и упоредити да ли развијени *МКЕ* модел може предвидети довољно добро ове учестаности. Такође се разматра утицај различитих режима кочења на појаву шкрипе: кочење до заустављања или кочење у циљу успоравања до неке брзине диска тј. возила.

На следећим дијаграмима (слике 16 до 22) су приказане мерне величине које карактеришу процес кочења: кочни притисак, p , број обртаја кочног диска, n , кочни момент, M_k , једносмерни- *DC* ниво звучног притиска, промена нивоа звучног притиска, *AC*, ниво звучног притиска, *SPL*, и коефицијент трења, μ . Иако су мерења извршена за максималне притиске од 0,5 до 3,0 МПа са кораком $\Delta p=0,5$ МПа, приказани су само режими који се односе на граничне вредности интервала промене притиска и почетни број обртаја који одговара кретању возила почетном брзином 55 km/h. Дијаграми промена мерних величине у осталим режимима су слични описаним граничним вредностима па нису приказани.

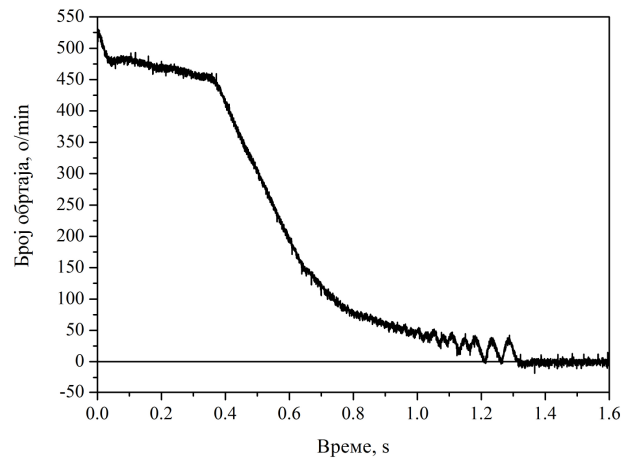
Коефицијент трења је одређен према изразу 1 на основу снимљених сигнала кочног притиска и момента [12]:

$$\mu = \frac{M_k}{2 \cdot p \cdot A_{klipa} \cdot r_{ef}} \quad (1)$$

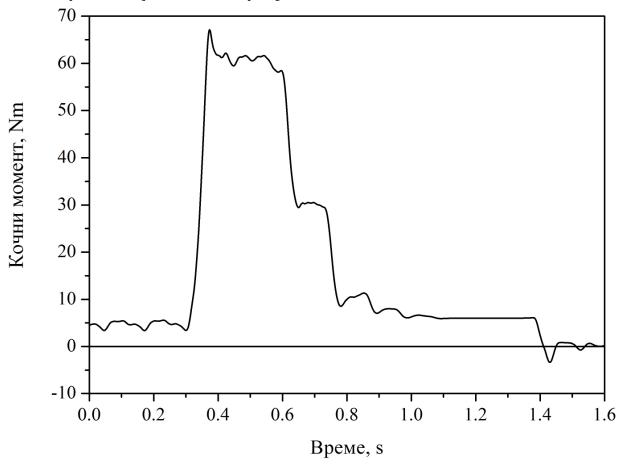
Како је за истраживање коришћен нови фриксиони пар диск-кочне плочице, у склопу кочнице је присутно мало трење на фриксионој површини и када кочница није активирана. То се може уочити на дијаграму промене кочног момента где се види да и пре и после процеса кочења (кочни притисак већи од нуле) постоји мала вредност кочног момента независно од кочног притиска и брзине ротације диска. Анализом једначине 1 види се да у периоду мерења када кочни притисак има вредност нула, $p=0$ МПа, а кочни момент је различит од нуле, $M_k \neq 0$ Nm (слика 18), није целисходно рачунање и приказивање коефицијента трења јер је његова вредност нереално велика [13].



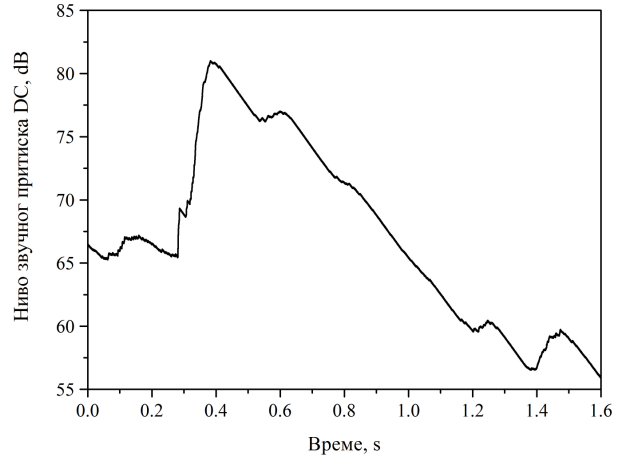
Слика 16 Кочни притисак при максималном притиску од 0,5 МПа и почетном броју обртаја 560 о/мин ($v=55 \text{ km/h}$)



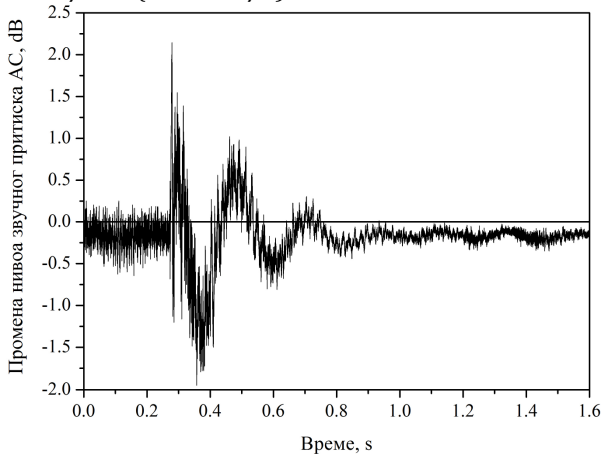
Слика 17 Број обртаја кочног диска при максималном притиску од 0,5 МПа и почетном броју обртаја 560 о/мин ($v=55 \text{ km/h}$)



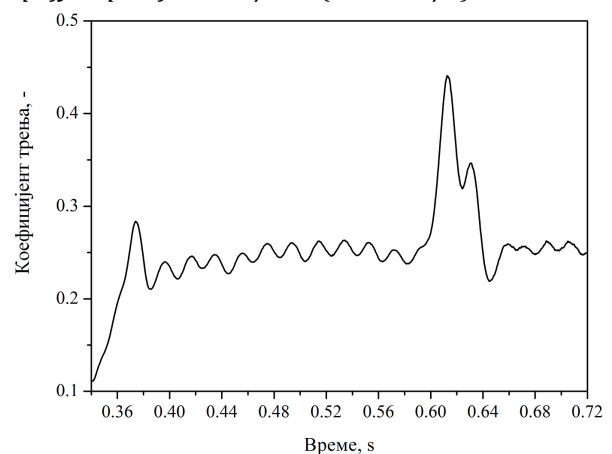
Слика 18 Кочни момент при максималном притиску од 0,5 МПа и почетном броју обртаја 560 о/мин ($v=55 \text{ km/h}$)



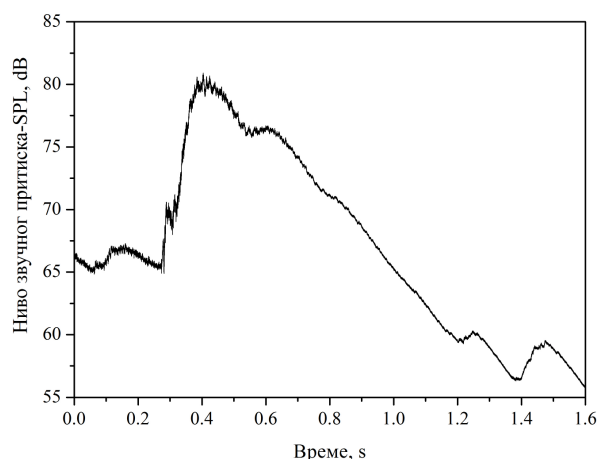
Слика 19 Ниво звучног притиска (DC) при максималном притиску од 0,5 МПа и почетном броју обртаја 560 о/мин ($v=55 \text{ km/h}$)



Слика 20 Промена нивоа звучног притиска (AC) при максималном притиску од 0,5 МПа и почетном броју обртаја 560 о/мин ($v=55 \text{ km/h}$)



Слика 21 Коефицијент трења при максималном притиску од 0,5 МПа и почетном броју обртаја 560 о/мин ($v=55 \text{ km/h}$)



Слика 22 Ниво звучног притиска (SPL) при максималном притиску од 0,5 МПа и почетном броју обртаја 560 о/min ($v=55$ km/h)

5 Литература

- [1] Wurzel D., *More Traffic – Less Noise*, INTER-NOISE 2006, Honolulu, Hawaii, USA, 2006.
- [2] Eriksson, M., *Friction and contact phenomena of disc brakes related to squeal*, PhD Thesis, ACTA UNIVERSITATIS UPSALIENSIS, Uppsala, 2000.
- [3] Chen, F., Tan, C.A., Quaglia, R.L., *Disc Brake Squeal-Mechanism, Analysis, Evaluation, and Reduction/Prevention*, SAE International, Warrendale, Pennsylvania USA, 2005, ISBN 0-7680-1248-1.
- [4] Weiss, D., Brake Test Systems, *HORIBA Technical Journal "Readout"* (online), English Edition No.13 February 2010, pp 20-23.
- [5] Curtis, J., *Friction Material Testing Overview*, Link Engineering Company, Inc. Интернет адреса: www.sae.org/events/bce/linkengrg-curtis.pdf, приступљено 29-01-2004.
- [6] Beranek, L.L., ed., *Wrapping, Enclosures, and Duct Linings, in Noise and Vibration Control*, chap. 15, Institute of Noise Control Engineering, Washington, DC, 1988.
- [7] Harris, C.M., ed., *Handbook of Noise Control*, chaps. 21-23, McGraw-Hill, New York, 1979.
- [8] Anonymous, *Brake Testing*, *Brüel & Kjær Magazine*, N^o1, Brüel & Kjær Sound and Vibrations A/S, Llaerum Denmark, 2003.
- [9] Anonymous, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, *Product Catalog*, Darmstadt
- [10] *SAE J2521, Disc Brake Dynamometer Squeal Noise Matrix*, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA May 2001.
- [11] Blaschke, P., Global NVH Matrix for Brake Noise-Bosch Proposal, *SAE Paper N^o1999-01-3405*, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1999.
- [12] Abu-Bakar, A. R., *Disc Brake Squeal: A Prediction Methodology*, VDM Publishing. ISBN: 978-3-8364-3591-8, 2008.
- [13] Глишовић, Ј., *Теоријска и експериментална истраживања високофреквентне буке диск кочица*, докторска дисертација, Факултет техничких наука Универзитета у Крагујевцу, 2012.

13.11.2012.	
01-1/3031	

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу бр. 01-1/2269-14 од 20.09.2012. год. именовани смо за рецензенте техничког решења:

„Уређај за испитивање буке диск кочница“

аутора: др Јасне Глишовић, асистента, др Мирослава Демића, ред. проф., др Јованке Лукић, ред. проф., мр Драгана Тарановића, асистента, др Радивоја Пешића, ред. проф., др Данијеле Милорадовић, доцента, мр Александра Давинића, асистента. На основу документованог предлога овог техничког решења подносимо следећи:

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „Уређај за испитивање буке диск кочница“ аутора др Јасне Глишовић, асистента, др Мирослава Демића, ред. проф., др Јованке Лукић, ред. проф., мр Драгана Тарановића, асистента, др Радивоја Пешића, ред. проф., др Данијеле Милорадовић, доцент, мр Александра Давинића, асистента, реализовано 2012. године, приказано је на 18 страница формата А4, писаних фонтом Cambria, величине 11pt, Single проредом, садржи 22 графичка приказа од којих су 5 фотографије. Предлог техничког решења састављен је, поред уводних података, из следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем,
2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења,
3. Суштина техничког решења,
4. Детаљан опис техничког решења,
5. Литература.

Техничко решење припада области научне и технолошке услуге и истраживање и пројектовање у вези наведених услуга и услуге индустријске анализе и истраживања (класа 42).

Техничко решење реализовано је у оквиру пројекта Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије (евиденциони број пројекта ТР 35041) и дисертације Јасне Глишовић, урађене под менторством др Јованке Лукић, ред. проф. Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Основне идеје као и резултати за ово техничко решење су објављене на међународном скупу и часописима.

У оквиру описа проблема који се решава детаљно су дате информације потребне за разумевање значаја проблема буке диск кочница који заокупља произвођаче фриксионих материјала, кочних компоненти и аутомобила. Назначено је да суштинску улогу у процесу испитивања ове појаве имају лабораторијска истраживања на динамометрима са реалним диск кочницама као објектом испитивања. Предложеним техничким решењем омогућавају се одговарајућа мерења и реална процена утицаја многих фактора на генерисање буке (нпр. утицај врсте фриксионог материјала, утицај хабања контактних површина, геометријских

параметара, температуре итд). Предложени уређај омогућава да се поред научних истраживања буке диск кочница врши испитивање кочних перформанси у процесу развоја и усавршавања кочних компоненти произвођача у земљи и иностранству.

У другом поглављу при разматрању тренутног стања решавања сличних проблема на веома детаљан и систематичан начин описани су динамометри различитих произвођача за испитивање појаве буке диск кочница у лабораторијским условима, дат је приказ принципијелних разлика коришћених уређаја и опис начина њиховог функционисања, као и величина које се при томе мере. Приказане су цене на тржишту нових и половних уређаја што даје одговор на питање зашто многи произвођачи кочних компоненти не поседују сопствене динамометре, већ их изнајмљују од овлашћених лабораторија

У трећем поглављу описана је суштина техничког решења. Користећи одговарајућу шему аутори техничког решења дају детаљно објашњење лабораторијског уређаја који обухвата испитни сто са погонским агрегатом, замајном масом и диском кочнице, електро енергетску инсталацију и мерну инсталацију за праћење и снимање појаве генерисања буке диск кочница. Сагледавајући добре и лоше стране описаних уређаја и захтева за испитивања, аутори техничког решења су предложили нови модел уређаја за испитивање буке и параметара ефикасности диск кочница. Овај модел омогућује испитивање при различитим режимима кочења (до заустављања, прикочивање, кочење у циљу одржавања жељене брзине кретања и кочење при кретању уназад), као и испитивање хладних и загрејаних кочница. Користећи одговарајућу шему детаљно је описан принцип рада уређаја.

У оквиру четвртог поглавља детаљно је дат опис техничког решења које је реализована у Лабораторији за испитивање мотора СУС на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Реализовани уређај као погонски агрегат користи електромотор "СЕВЕР" Суботица номиналне снаге од 4 kW при 2830 o/min. Дат је блок дијаграм, шема мерног ланца и фотографије комплетног реализованог уређаја и појединих делова. Компоненте формираног мерног ланца за снимање притиска у кочном цилиндру диск кочнице, p , кочног момента, M_k , броја обртаја диска кочнице, n , и нивоа звучног притиска, SPL , при раду испитиване кочнице у лабораторијским условима, као и начин повезивања појединих компоненти приказане су на фотографијама и блок шемама. Посебан део овог поглавља представља опис мерења и аквизиције сигнала. Мерни сигнали са давача се затим воде у систем за аквизицију података фирме *National Instruments*, типа *NI USB-6341* који у интерфејсу са софтвером *LabVIEW 2010* сакупља, анализира, презентује у реалном времену и чува резултате мерења. На крају овог поглавља приказани су примери измерених мерних величина карактеристичних за испитивање појаве буке који су база за даљи процес обраде података.

На крају пријаве техничког решења дат је приказ коришћене литературе и списак радова који садрже резултате истраживања применом предложеног техничког решења. Треба нагласити да овај списак публикованих радова сведочи о актуелности проблема истраживања и значају примене и могућности предложеног техничког решења.

МИШЉЕЊЕ

Техничко решење *„Уређај за испитивање буке диск кочница“* аутора др Јасне Глишовић, асистента, др Мирослава Демића, ред. проф., др Јованке Лукић, ред. проф., мр Драгана Тарановића, асистента, др Радивоја Пешића, ред. проф., др Данијеле Милорадовић, доцента, мр Александра Давинића, асистента, документована је јасно и прегледно. Детаљно је описан целокупан склоп и функција свих делова.

Предложено техничко решење представља оригиналан лабораторијско-експериментални уређај за истраживање сложене појаве буке диск кочница. Оно омогућава реалну процену утицаја многих фактора на посматрану појаву: врсте фриксионог материјала, утицај хабања контактних површина, геометријских параметара, температуре, врсте и карактера оствареног трења, итд. Са практичног аспеката, је најважније поменути могућност да се на предложеном уређају веома ефикасно врши реконструкција шкрипе кочница што није лак задатак. У многим случајевима, шкрипа кочница се јавља само током једног дела процеса успоравања или код кочења уз одржавање константне брзине. Компоненте кочнице често морају да раде у тачно одговарајућим условима које ово техничко решење омогућава. Ови услови могу да обухвате брзину, температуру, влажност, кочни притисак и хабање.

На основу претходно изнетог произилази да се предложеним уређајем, поред научних истраживања буке диск кочница могу вршити испитивања кочних перформанси у процесу развоја и усавршавања кочних компоненти произвођача у земљи и иностранству.

Техничко решење *„Уређај за испитивање буке диск кочница“* аутора др Јасне Глишовић, асистента, др Мирослава Демића, ред. проф., др Јованке Лукић, ред. проф., мр Драгана Тарановића, асистента, др Радивоја Пешића, ред. проф., др Данијеле Милорадовић, доцента, мр Александра Давинића, асистента, је оригинално и успешно изведено од идеје до конкретне реализације. Показало је поуздан рад и валидну серију резултата.

Са задовољством предлажемо да се техничко решење *„Уређај за испитивање буке диск кочница“* прихвати као ново техничко решење (ново лабораторијска постројење, односно ново експериментално постројење - М83 према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Службени гласник РС“, бр. 38/2008)).

10. новембар 2012. год.

Рецензенти:

Др Ференц Часњи, ред. проф. Факултет
техничких наука, Нови Сад



Др Бранислав Ракићевић, ванр. проф.
Машински факултет, Београд





УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
Факултет инжењерских наука
Број: ТР-65/2012
28. 11. 2012. године
Крагујевац

Наставно-научно веће Факултета инжењерских наука у Крагујевцу на својој седници од 28. 11. 2012. године на основу члана 200. Статута Факултета инжењерских наука, донело је

ОДЛУКУ

Усвајају се позитивне рецензије техничког решења „Уређај за испитивање буке диск кочница“, аутора др Јасне Глишовић, асистента, др Мирослава Демића, ред. проф., др Јованке Лукић, ред. проф., мр Драгана Тарановића, асистента, др Радивоја Пешића, ред. проф., др Данијеле Милорадовић, доцента, и мр Александара Давинића, асистента.

Решење припада класи М83, према класификацији из Правилника о поступку, начину вредновању, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. Гласник РС“ - бр. 38/2008).

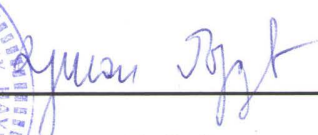
Рецензенти су:

1. **Др Ференц Часњи**, ред. проф., Факултет техничких наука, Нови Сад,
Ужа научна област: Моторна возила
2. **Др Бранислав Ракићевић**, ванр. проф., Машински факултет, Београд,
Ужа научна област: Моторна возила

Достављено:

- Ауторима
- Архиви

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА



Др Мирослав Бабић, редовни професор

