

Образац 2.

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно

1167/5

члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

(Број захтева)

20.08.2012. године

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5 тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06)“, дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

ВЕЛИМИРА (РАДОЈКО) ЋИРОВИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ВЕЛИМИР (РАДОЈКО) ЋИРОВИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЋАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА

Универзитет је дана 16.04.2010. год. својим актом под бр. 020-1212/4-2/10 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЋАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ВЕЛИМИРА (РАДОЈКО) ЋИРОВИЋА**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 21.06.2012. године, одлуком факултета под бр. 1167/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Драган Александрић</u>	Ванредни професор	Моторна возила	Машински факултет Београд
2. <u>Др Бранко Васић</u>	Редовни професор	Моторна возила	Машински факултет Београд
3. <u>Др Градимир Ивановић</u>	Редовни професор	Моторна возила	Машински факултет Београд
4. <u>Др Зоран Миљковић</u>	Редовни професор	Производно машинство	Машински факултет Београд
5. <u>Др Александра Јанковић</u>	Редовни професор	Моторна возила	Факултет инжењерских наука у Крагујевцу

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 12.07.2012. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.

2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.

3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности,
уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1167/4
Датум: 12.07.2012. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 30. Закона о високом образовању (Сл.гласник 76/05, 100/07 и 44/10) и чл. 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду и извештаја Комисије у саставу: проф.др Драган Александрић, ментор, проф.др Бранко Васић, проф.др Градимир Ивановић, проф.др Зоран Миљковић, проф.др Александра Јанковић, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу о оцени докторске дисертације „Истраживање могућности примене вештачке интелигенције у предвиђању перформанси кочног система моторних возила“ докторанта Велимира Ћировића, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 12.07.2012. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“** докторанта **ВЕЛИМИРА ЋИРОВИЋА**, дипл.инж.маш.

Одобрава се одбрана докторске дисертације, пошто је докторска дисертација са извештајем Комисије за оцену и одбрану била стављена на увид јавности у трајању од 30 дана, па како је после свих разматрања на ННВ М.Ф. на крају извештај Комисије коначно усвојен, доставља се Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду да да сагласност на извештај о урађеној докторској дисертацији.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, докторанту, ментору и архиви факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ
Универзитет у Београду Машински факултет

О В Д Е

Београд, 29.06.2012. године

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Велимира Ћировића, дипл. инж. маш.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 1167/2 од 21.06.2012. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Велимира Ћировића**, дипл. инж. машинства, под називом: „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“, о чему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Увод

1.1 Наслов и обим докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата Велимира Ћировића, дипл. инж. маш., под насловом „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“ је изложена на 315 страна, садржи списак коришћене литературе на 17 страна.

1.2 Хронологија одобравања израде докторске дисертације

Кандидат Велимир Ћировић, дипл. инж. маш., је пријавио израду докторске дисертације 03.03.2010. год., под бројем 346/1 на Катедри за Моторна возила Машинског факултета у Београду. Кандидат је за ментора предложио доцента др Драгана Александрића. На основу предлога Катедре за моторна возила и Одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 346/3 од 18.03.2010. године, формирана је Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу: Доц. др Драган Александрић, ментор, Проф. др Бранко Васић, Проф. др Градимир Ивановић, Проф. др Зоран Миљковић и Проф. др Александра Јанковић, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације је 29.03.2010. године је поднела Извештај, заведен под бр. 346/4, Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду. Комисија у Извештају предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под радним називом „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“ наводећи да кандидат испуњава све законске услове за израду докторске дисертације, и да предложена тема, као актуелна

атрактивна и значајна, може бити тема докторске дисертације. Одлуком Наставно – научног већа бр. 346/5 од 8.04.2010. године је прихваћен предлог Комисије за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме.

У вези са захтевом докторанта Велимира Ћировића, дипл. инж. маш., да му се одобри израда докторске дисертације, Одлука Наставно-научног већа Машинског факултета од 08.04.2010. године о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и о именовању ментора, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 16.04.2010. године дало сагласност којом се одобрава рад на теми докторске дисертације „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“, под менторством доцента др Драгана Александрића (Одлука бр. 020-1212/4-2/10). На основу Одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и именовању ментора, а на основу сагласности Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, декан Машинског факултета у Београду је 17.04.2010. год. донео закључак бр. 346/6 да се одобри рад на теми докторске дисертације „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“ кандидату Велимиру Ћировићу, дипл. инж. маш. Наставно научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 1.09.2011. године донело Одлуку, бр. 2371/1 од 5.09.2011. године, о продужењу рока за израду докторске дисертације кандидата Велимира Ћировића, дипл. инж. маш., до 1.10.2012. године.

Ментор доц. др Драган Александрић је обавестио Катедру за Моторна возила, као и Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду, дописом број 1167/1 од 18.06.2012. године, о завршетку докторске дисертације „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“. Предложена је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: Доц. др Драган Александрић, ментор, Проф. др Бранко Васић, Проф. др Градимир Ивановић, Проф. др Зоран Миљковић и Проф. др Александра Јанковић, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

На основу наведеног дописа Наставно-научно веће је на седници од 21.06.2012. године једногласно усвојило обавештење ментора о завршетку докторске дисертације кандидата Велимира Ћировића под називом „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“ и усвојило предлог Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације (Одлука бр. 1167/2 од 21.06.2012. године).

1.3 Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“ припада области техничких наука, односно машинству и ужој научној области Моторна возила.

1.4 Биографски подаци о кандидату

Велимир Р. Ћировић је рођен 26. августа 1981. године у Горњем Милановцу, Република Србија. По националности је Србин и држављанин Републике Србије. Основну школу „Сава Керковић“ је завршио у Љигу 1996. године, а Гимназију „Бранислав Петровић“ такође у Љигу 2000. године. На Машински факултет Универзитета у Београду уписао се 2000. године. Уписом у трећу годину студија се определио за одсек моторна возила. Машински факултет Универзитета у Београду је завршио у року 2005. године без коришћења апсолвентског стажа са просечном оценом 8.31 (осам и 31/100). Дипломирао је 25. маја 2005. године и том приликом одбранио дипломски рад из предмета Пројектовање возила, под називом „Примена програмског пакета CATIA за симулацију рада планетарних преносника“ са оценом 10 (десет) на дипломском раду. Исте године је уписао последипломске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду и постао докторант прве генерације докторских студија које се спроводе по новом програму. Од тог периода, као и после одслужења војног рока у цивилу на Машинском факултету

у Београду (од септембра 2006. до маја 2007. године), наставља усавршавање као сарадник на Машинском факултету Универзитета у Београду. Породични статус – неожењен.

Као истакнути студент у својој генерацији, Велимир Ћировић је неколико пута похваљиван и награђиван поводом дана Машинског факултета (након прве године основних студија па све до дипломирања 2005. године). Током досадашњег рада паралелно са свим наведеним активностима учествовао је на неколико домаћих и међународних конференција у вези са истраживањима и научним достигнућима из области моторних возила, што је детаљније дато у списку објављених радова. Главне области истраживања кандидата су кочни системи моторних и прикључних возила, примена метода вештачке интелигенције у области моторних возила, интелигентно управљање системима моторних возила, мехатроника.

Упоредо са истраживачким активностима укључује се у наставу на Машинском факултету у Београду тако што је држао аудиторне вежбе из предмета Перформансе возила, Мехатроника на возилу, Системи возила и Пројектовање возила 1. Поред тога је држао лабораторијске вежбе из предмета Перформансе возила и Експерименталне методе (по старом програму).

Учесник је хомологацијских испитивања кочних система аутобуса домаћих произвођача према Правилнику ЕЦЕ 13 („ФАП“ и „Икарбус“). Енглески језик говори, чита и пише. Служи се, руским и немачким језиком. Влада савременим софтверским пакетима као што су Matlab, CATIA, Visual Basic, LabView, AutoCAD, ProEngineer, Inventor и др.

2. Опис дисертације

2.1 Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Велимира Ћировића, дипл. инж. маш., под насловом „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЋАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“ изложена је на 315 страна и садржи списак коришћене литературе на 17 страна. Дисертација садржи следећих осам поглавља:

1. Увод;
2. Преглед стања у области истраживања;
3. Предмет и циљ истраживања;
4. Кочни системи привредних возила;
5. Интеракција пнеуматика и пута;
6. Карактеристике метода вештачке интелигенције;
7. Интелигентно управљање перформансама кочног система привредног возила;
8. Закључак.

Дисертација садржи 136 слика и 11 табела.

Кратак приказ појединачних поглавља

Докторска дисертација „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЋАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“ састоји се из осам поглавља.

Прво поглавље представља увод у коме је указано на значај унапређења активне безбедности моторних возила, кроз увођење иновативних и интелигентних решења у области рада кочних система моторних возила, посебно привредних возила. У складу са тим, у уводу је објашњен значај

интелигентног управљања перформансама кочног система привредних возила, дефинисано је шта је очекивани допринос у развоју кочног система привредних возила са интелигентним особинама и помоћу којих метода је то могуће реализовати.

У **другом поглављу** је дат преглед истраживања која указују на досадашња достигнућа и тренутно стање у мултидисциплинарној области истраживања на коју се дисертација односи. Имајући у виду комплексност истраживања и мултидисциплинарност теме, обухваћена су истраживања различитих проблема који су везани за функцију кочног система, могућности интелигентног управљања перформансама кочног система, а тиме и кочница, као и проблема уско везаних за сложену интеракцију између пнеуматика и пута. Посебно су у фокусу били проблеми везани за могућност динамичког моделирања и предвиђања перформанси кочнице, односно интеракције пнеуматик-тло током циклуса кочења. Поред тога, истраживана су досадашња достигнућа на пољу унапређења управљања перформансама кочних система у смислу постизања жељеног/оптималног нивоа клизања у контакту пнеуматика и пута. Ово је посебно анализирано са становишта успешности примене техника вештачке интелигенције попут вештачких неуронских мрежа, фази логике и генетских алгоритама у решавању истих или сличних проблема.

У **трећем поглављу** је дат предмет и циљ истраживања спроведених у оквиру дисертације. Истакнуто је да су комплексна теоријска и експериментална истраживања предмет ове докторске дисертације и да су спроведена у циљу моделирања сложених динамичких утицаја радних режима кочница моторних возила и услова у контакту пнеуматик-тло, као и предвиђања ових утицаја у циљу управљања перформансама кочница у току циклуса кочења. Објашњен је основни циљ истраживања, који се односи на то да се применом савремених теоријских и експерименталних метода истраже могућности примене метода вештачке интелигенције за интелигентно управљање перформансама кочница, а у складу са тиме и перформансама кочног система, како би се остварило интелигентно прилагођавање силе кочења динамичким променама подужног клизања точка у контакту пнеуматика и пута током циклуса кочења. Истраживања у овој дисертацији се односе на могућности предвиђања перформанси кочница моторних возила у току циклуса кочења, на основу развијеног динамичког модела процеса кочења, односно могућности динамичког усклађивања оствареног момента кочења са тренутно важећим условима пријањања у контакту пнеуматик-тло. Као подједнако важни циљеви дисертације наведени су и анализа могућности и домена примене различитих техника вештачке интелигенције у фазама моделирања, предвиђања и управљања перформансама пнеуматички активираних диск кочница привредних возила.

У оквиру **четвртог поглавља** су најпре анализирани основне карактеристике кочних система моторних и прикључних возила и захтеви који се постављају пред савремене кочне системе. Посебна пажња је посвећена перформансама кочног система, а детаљно у оквиру тога и перформансама кочница, односно феноменима који се дешавају у контакту фрикционих површина кочнице. То се пре свега односи на утврђивање на који начин промена услова у контакту фрикционих површина диск кочнице, изазвана променом радних режима кочнице, утиче на њене излазне перформансе, односно на ниво и стабилност тако генерисаног момента кочења. Показано је да управљање перформансама кочног система захтева сагледавање не само карактеристика кочног система и жеља возача, већ и могућности реализације силе кочења у контакту пнеуматика са подлогом у циљу задовољења захтева у погледу активне безбедности возила током кочења. Битну улогу у вези са тим имају и карактеристике пнеуматика, у погледу њихове конструкције, деформабилности, крутости и еластичности материјала од кога је направљен. То намеће потребу за развојем динамичког модела који би био у стању да обухвати све ове утицаје на процес динамичког управљања перформансама кочног система. У оквиру даљих истраживања, представљених у овом поглављу, анализирани су карактеристике постојећих електронских система за управљање перформансама кочног система који се примењују на савременим привредним возилима и то пре свега ABS-а, ESC-а и EBS-а. На основу анализе карактеристика поменутих електронски управљаних система спроведена су даља истраживања у циљу идентификовања могућности за њихово даље унапређење. У складу са тим, на крају овог поглавља су представљени резултати експерименталне идентификације начина функционисања EBS система. Извршена је анализа утицаја појединих параметара на перформансе EBS система, а посебно са становишта утврђивања карактера промене подужног клизања у контакту пнеуматик-тло у зависности од различитих услова кочења, односно режима кочења, захтева возача, врсте пута по коме се возило креће, односно тренутних услова пријањања. Експериментална истраживања у

вези са одређивањем функционалних карактеристика EBS система, спроведена у овој дисертацији, показују да клизање точка није увек у оптималним границама током читавог циклуса кочења, односно није на нивоу где је доступно максимално пријањање при кочењу на правцу. Сходно томе утврђене су могућности за даљу оптимизацију притисака активирања кочница са условима пријањања точка у циљу смањења пута кочења и повећања стабилности возила при кочењу.

У **петом поглављу** је истакнуто због чега је важно што тачније одредити, али и предвидети зависност између коефицијента пријањања и клизања у контакту пнеуматик-тло, нарочито у реалним, динамички променљивим, радним условима у којима возило, а тиме и кочни систем, врши своју функцију. Због тога су у овом поглављу детаљно анализирани начини одређивања зависности коефицијента пријањања пнеуматика у контакту са подлогом од клизања у подужном правцу (за случај кочења), полазећи од прегледа основних карактеристика самих пнеуматика које могу утицати на карактер промене услова у контакту са површином пута. Посебна пажња је посвећена досадашњем приступу моделирања особина контакта пнеуматик-тло са освртом на тзв. статичке моделе контакта али и анализи могућности одређивања тзв. динамичких кривих клизања, односно одређивања зависности коефицијента пријањања од клизања у подужном правцу у реалном времену. На основу тога колика је тренутна вредност коефицијента пријањања и при којој се тренутној вредности клизања точка она остварује, анализирани су начини како је могуће интелигентно управљати притиском активирања кочнице на датом точку како би се клизање точка у подужном правцу довело на оптималну вредност која одговара максималној вредности коефицијента пријањања у контакту пнеуматик-тло.

У **шестом поглављу** је дат преглед општих карактеристика метода вештачке интелигенције (вештачких неуронских мрежа, фази логике и генетских алгоритама) како би се особине ових метода што детаљније сагледале и анализирале могућности њихове примене за моделирање, предвиђање и интелигентно управљање перформансама кочног система. Управо због тога су у овом поглављу разматране карактеристике и могућности вештачких неуронских мрежа у погледу моделирања сложених динамичких утицаја радних режима кочнице на њене перформансе у циљу увођења интелигентног управљања перформансама кочног система у динамичким радним условима. У том смислу, објашњени су основни појмови, дат је преглед развоја, као и суштински принципи везани за рад вештачких неуронских мрежа. Истраживане су основне карактеристике вештачких неуронских мрежа са нагласком на динамичке неуронске мреже, а посебно је пажња посвећена анализи рекурентних неуронских мрежа, као подврсти динамичких мрежа. Анализирано је на који начин је могуће развити динамички неуронски модел који би био у стању да функционално апроксимира динамички променљиве утицаје различитих радних услова кочнице у току циклуса кочења (притисак активирања кочнице, температура кочнице и брзина точка) на њене перформансе, као и да испрати сложену динамику процеса који се дешава у контакту пнеуматика и тла. Истраживане су и могућности за динамичко обучавање неуронског модела у току циклуса кочења, како би се омогућило прилагођавање тренутног квалитета предвиђања модела новим условима пријањања. У оквиру овог поглавља је анализирана још једна од техника из домена вештачке интелигенције а то је фази логика. Истраживане су карактеристике и могућности примене ове технике у погледу развоја интелигентних особина кочног система, односно имплементације експертског знања у будући интелигентни кочни систем. Посебно је посвећена пажња анализи могућности комбиновања фази логике са методом вештачких неуронских мрежа у циљу развоја хибридног неуро-фази динамичког модела управљања перформансама диск кочнице привредних возила, односно управљања подужним клизањем точка у контакту са тлом. Истраживано је такође на који начин је могуће искористити фази логичка правила како би се унапредило управљање перформансама кочног система у неодређеним ситуацијама у којима он може да се нађе, а пре свега у ситуацијама евентуалне појаве грешака у предвиђању динамичког неуронског модела. Имајући у виду да генетски алгоритми такође припадају методама вештачке интелигенције, у овом поглављу су дате основне карактеристике и принцип рада генетских алгоритама. Полазећи од основних карактеристика ове оптимизационе методе, анализирано је да ли је могуће и под којим условима имплементирати генетске алгоритме у циљу реализације динамичког подешавања притиска активирања кочница на предњој и задњој осовини према тренутним условима пријањања у контакту пнеуматика и тла.

Седмо поглавље је најважније у погледу научног доприноса ове докторске дисертације. У овом поглављу је, после објашњења везаних за спровођење фазе експерименталних истраживања и поступка

добивања потребних података, неопходних за даљи развој модела, приказана анализа на који начин је могуће интелигентно предвиђати, а касније и управљати перформансама кочног система помоћу метода чији се рад базира на паралелном процесирању експериментално добијених података током процеса кочења. То се конкретно односи на истраживања могућности примене три технике из области вештачке интелигенције – динамичких вештачких неуронских мрежа, фази логике и генетских алгоритама у развоју динамичког модела перформанси кочница, односно у развоју интелигентно управљаног кочног система моторног возила. У складу са тим, фокус истраживања, представљен у другом делу овог поглавља, је био усмерен на развој нове методе интелигентног управљања перформансама кочног система привредног возила опремљеног електронски управљаним кочним системом (EBS), како би се у контакту пнеуматика и тла остварила жељена/оптимална динамичка промена клизања у подужном правцу. Истакнуто је да је посебна пажња посвећена томе на који начин је могуће обезбедити интелигентне особине управљања перформансама кочног система. Приказана су истраживања у смислу могућности развоја динамичког неуронског модела који обједињује перформансе кочнице и њихов утицај на интеракцију пнеуматика и тла током процеса кочења, чиме се омогућује динамичко подешавање притиска активирања кочнице у току циклуса кочења на вредност која обезбеђује жељени ниво подужног клизања у контакту пнеуматика и пута у зависности захтева возача. Поред тога, разматрани су утицаји различитог стања оптерећености возила, тренутни радни режими кочнице и тренутно стање у контакту пнеуматик/тло (стварно клизање точка). У овом поглављу је дат приказ резултата истраживања која се односе на могућности подешавања вредности притиска активирања кочнице, у зависности од предикције динамичког неуронског модела, уз интегрисану помоћ фази логике, уколико постоји потреба, односно уколико постоји евидентно одступање предвиђеног притиска од вредности притиска активирања кочнице који може довести точак на жељени ниво клизања. На основу приказаних резултата на примеру карактеристичних циклуса кочења, добијених приликом испитивања возила у оптерећеном и неоптерећеном стању, показано је да је истраживање у правцу развоја интелигентно управљаног кочног система привредних возила од изузетног значаја. То је посебно важно у функцији унапређења постојећих решења као што је EBS и у оквиру њега система за спречавање блокирања кочених точкова (ABS) и за управљање клизањем точкова на предњој/задњој осовини (DSC). Због тога су у овом поглављу приказани поступци развоја посебних динамичких модела (неуронских и неуро-фази), заснованих на тзв. моделу четвртине возила, који функционално апроксимирају процес кочења, односно рад кочнице заједно са интеракцијом пнеуматик-тло на предњој и задњој осовини возила у оптерећеном и неоптерећеном стању. У овом поглављу су приказани резултати тестирање перформанси развијених неуронских и неуро-фази модела. Поред тога, анализирани су могућности интегрисане примене динамичких вештачких неуронских мрежа и генетских алгоритама у циљу оптимизације притиска активирања кочница у складу са жељеним/оптималним клизањем. На основу резултата тестирања динамичких неуронских модела приказаних у раду, односно на основу поређења предвиђених промена притисака активирања кочнице са притисцима активирања који су измерени током експерименталних истраживања, на предњој и задњој осовини, показано је да је могуће развити динамички неуронски модел који функционално апроксимира посматране утицаје у току циклуса кочења са довољном тачношћу. Показано је да могуће успешно развити хибридни неуро-фази динамички модел за управљање притиском активирања пнеуматички активираних диск кочница. Даље је показано да се увођењем ове нове методе моделирања, предвиђања и управљања притисцима активирања кочница на предњој и задњој осовини, може постићи оптимални ниво клизања у контакту пнеуматик тло и тиме максимизирати кочне перформансе возила, што је од пресудног значаја за унапређење активне безбедност возила.

Дисертација се завршава **закључком** у коме су наведени њени главни резултати. Указано је и на могуће правце даљег истраживања у области увођења интелигентних способности кочних система моторних возила.

3. Оцена дисертације

3.1 Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“ представља савремен и оригиналан приступ и допринос разматраним могућностима моделирања, предвиђања и интелигентног управљања перформансама кочног система моторних возила у зависности од подужног клизања у контакту пнеуматика и тла. Кандидат је у истраживању могућности увођења интелигентних способности кочног система, базираног на примени метода вештачке интелигенције, користио савремене приступе и експерименталне методе. Развијена је нова хибридна интелигентна метода за моделирање, предвиђање и управљање притисцима активирања диск кочница привредних возила који могу обезбедити жељено/оптимално клизање точка у контакту са подлогом у подужном правцу. На основу експерименталних вредности добијених коришћењем савремене мерне и аквизиционе технике, као и сложене обраде мерних резултата, добијени су нови и оригинални резултати, у вези са моделирањем сложених динамичких утицаја радних режима кочница моторних возила и предвиђања ових утицаја на перформансе кочница у току циклуса кочења, који су значајни за даље унапређење рада система на возилу који су одговорни са становишта његове активне безбедности (ABS, EBS). У научне доприносе се могу убројити и резултати који се односе на развој оригиналних динамичких модела који истовремено обухватају утицаје феномена у контакту фрикционог пара кочнице, карактеристика пнеуматика као и процеса који се дешавају као последица интеракције пнеуматика и тла током кочења. Оригиналност постигнутих резултата је потврђена и у радовима који су публиковани у врхунским међународним часописима и саопштени на научним скуповима.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији, с обзиром на њен мултидисциплинаран карактер, је коришћена обимна литература из области моделирања, предвиђања и управљања перформансама кочница моторних возила, управљања клизањем у контакту пнеуматика и тла, развоја статичких и динамичких модела интеракције пнеуматик-тло, особина савремених електронских система за управљање перформансама кочног система и особина и примене метода из домена вештачке интелигенције. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за формирање прегледа тренутног стања у вези са постојећим истраживањима у области моделирања, предвиђања и управљања перформансама кочног система моторних возила, као и за припрему експеримената за верификацију развијених динамичких модела. На тај начин је дат релевантан приказ постојећег стања у областима којој припадају проблеми решени у докторској дисертацији. Коришћена литература је избор савремене и актуелне литературе која осим прегледа постигнутих резултата указује на могуће правце даљег научног рада.

3.3 Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

У докторској дисертацији је, у циљу истраживања могућности примене метода вештачке интелигенције за моделирање рада кочница и кочног система моторних возила, односно усклађивање перформанси кочног система са условима у контакту пнеуматик тло, коришћен већи број савремених научно-истраживачких метода, које су примењиване сходно типу проблема који је решаван. Методе које су примењиване су следеће: експерименталне методе (за мерење силе на команди система за радно кочење, притисака активирања кочница на предњој/задњој осовини, температуре у контакту фрикционих парова кочница на предњој/задњој осовини, брзине возила, успорења возила у подужном правцу и броја обртаја точка на предњој/задњој осовини), математичке методе (за статистичку обраду измерених података), методе вештачке интелигенције (динамичке вештачке неуронске мреже, фази логика и

генетски алгоритми), комбиноване методе (интеграција техника вештачке интелигенције у циљу развоја нове методе за динамичко моделирање и интелигентно предвиђање перформанси кочница, а потом и кочног система, заснованих на вештачкој интелигенцији) и симулационе методе (за предвиђање перформанси кочног система на основу развијених динамичких модела процеса кочења).

3.4 *Оцена примењивости и верификације остварених резултата*

Резултати докторске дисертације поред научне вредности имају и широку практичну примену, пре свега у развоју нових кочних система чији се рад одликује интелигентним могућностима предвиђања перформанси за дате радне режиме кочница. Развојем динамичког модела процеса кочења и ефеката овог процеса на услове пријањања између пнеуматика и тла током циклуса кочења су се створили предуслови за развој контролера за управљање перформансама кочног система базираног на вештачкој интелигенцији. При томе је током верификације остварених резултата предвиђања перформанси посматраних кочница остварено добро слагање добијених вредности од стране динамичких модела са релано измереним вредностима притисака активирања кочница на предњој и задњој осовини. Остварени резултати су такође од великог значаја на пољу унапређења рада постојећих електронски управљаних кочних система моторних возила увођењем интелигентних особина у управљању перформансама кочног система у складу са променом посматраних утицајних величина и изабраном стратегијом кочења.

3.5 *Оцена способности кандидата за самостални научни рад*

Кандидат је током израде дисертације показао да је у стању да самостално решава сложене научне проблеме и да успешно влада најсавременијим научним и истраживачким методама. Поседује широко радно искуство и теоријско знање које је потребно за даљи успешан научно-истраживачки рад.

4. Остварен научни допринос

4.1 *Приказ оствареног научног доприноса*

У складу са постављеним циљевима, садржајем и поступцима истраживања основни научни допринос докторске дисертације јесте развој интелигентног, хибридног (неуро-фази), динамичког модела процеса кочења и функционална апроксимација сложених утицаја у контакту пнеуматик-тло, на ниво клизања точка помоћу метода вештачке интелигенције. Остварени научни допринос докторске дисертације „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“ је вишеструк и огледа се у следећем:

- Развијене су интелигентне способности кочног система привредног возила, у смислу предвиђања и управљања перформансама кочног система у зависности од жеље возача (притисак активирања кочница) и подужног клизања у контакту пнеуматик-тло, на бази развијених динамичких модела (за предњу и задњу осовину) који обједињују синергијске утицаје процеса у контакту фрикционог пара кочнице, карактеристика пнеуматика и процеса који се дешавају у контакту пнеуматика и тла.
- Омогућено је максимизирање, односно побољшање искоришћености услова пријањања у контакту пнеуматик – тло током процеса кочења кроз интелигентно управљање притиском активирања кочница на начин да се оствари оптимално подужно клизање точка. Овим су створени услови за даље унапређење активне безбедности возила на основу примене развијених алгоритама и поступака помоћу којих је могуће, током циклуса кочења, интелигентно управљати притисцима активирања кочница у зависности од вредности клизања у контакту пнеуматик-тло на појединим осовинама возила.

- Развијена је метода за праћење, аквизицију, обраду и интелигентну подршку доношењу одлука везаних за динамичку корекцију притисака активирања кочница на предњој и задњој осовини. Овим су створени услови за динамичко ажурирање „знања“ будућег контролера помоћу кога би се остварило интелигентно управљање притиском активирања кочница моторних возила на предњој/задњој осовини, у зависности од динамичке промене клизања у контакту пнеуматик-тло.
- Сprovedена је детаљна анализа утицаја промене радних режима кочнице, промене стања оптерећености возила, прерасподеле вертикалног оптерећења са задње на предњу осовину, различитих архитектура неуронских мрежа, различитих алгоритама обуке мрежа на перформансе предвиђања модела.
- Развијена је оригинална и ефикасна конфигурација за симулацију рада система интелигентног управљања перформансама кочница на предњој/задњој осовини, као и развијен поступак за континуалну обуку динамичких модела предње и задње осовине (током сваког циклуса кочења) у циљу иновирања њихових знања о посматраним утицајима на перформансе кочнице и стање у контакту пнеуматик-тло.
- Врло прегледно је приказана сама проблематика управљања перформансама кочница, односно кочног система, а уједно је имплементирана метода динамичког одређивања тренутне вредности коефицијента пријањања у контакту пнеуматик-тло.

4.2 *Критичка анализа резултата истраживања*

На основу прегледа литературе, сагледавања постојећих решења из области дисертације, спроведених истраживања на основу постављених циљева и предмета дисертације, постигнути су оригинални и значајни резултати који, што је јако важно, имају и применљивост у пракси. Ово се пре свега односи на даља унапређења рада садашњих ABS и EBS система привредних возила кроз увођење интелигентних решења у њиховом раду. Такође, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у дисертацији можемо закључити да су извршена детаљна истраживања у погледу могућности примене метода вештачке интелигенције у моделирању, предвиђању и управљању перформансама кочног система привредних возила. С обзиром на значај истраживања у области моделирања, предвиђања и управљања перформансама кочница привредних моторних возила у динамичким условима (у току циклуса кочења), развој динамичких модела који описују промену излазних перформанси кочница моторног возила у току процеса кочења у зависности од динамичке промене подужног клизања точка, промене трансаторне брзине точка и температуре у контакту фриксионог пара посматране кочнице је од изузетне важности. У докторској дисертацији је развијена нова интелигентна метода која омогућава динамичко подешавање потребног притиска активирања кочница током циклуса кочења, како би се у контакту пнеуматика и тла остварило жељено подужно клизање. Стога, ова докторска дисертација представља важан допринос у области интелигентног управљања динамичким нелинеарним процесима, као што је то процес кочења. Имајући у виду добијена решења, очекује се имплементација резултата дисертације у будућим истраживањима, као и при пројектовању нових кочних система моторних возила са интелигентним особинама.

4.3 *Очекивана примена резултата у пракси*

У расположивој литератури не постоји решења проблема динамичког моделирања, предвиђања и управљања перформансама кочног система моторних возила у току циклуса кочења, степена интелигентности који је развијен у овој докторској дисертацији, па се очекује значајна примена резултата и метода датих у дисертацији. Применом резултата добијених помоћу метода заснованих на вештачкој интелигенцији, који су верификовани у тези, знатно се унапређује процес пројектовања интелигентно управљаних кочних система привредних возила, омогућава провера њиховог динамичког понашања и перформанси и скраћује време развоја, што доводи до знатних уштеда у фази пројектовања, испитивања

и експлоатације кочног система. Осим тога, експериментално верификовани динамички неуронски и хибридни, неуро-фази, модели процеса кочења за предњу и задњу осовину могу послужити за даља истраживања у циљу развоја унапређених алгоритама њихове обуке током сваког циклуса кочења и обезбеђења стабилног и тачног предвиђања перформанси кочног система у зависности од услова пријањања између пнеуматика и тла.

4.4 Верификовани научни доприноси

Научни допринос докторске дисертације је верификован радовима објављеним у врхунским међународним часописима, часопису националног значаја и саопштењима на конференцијама током вишегодишњег истраживања:

M21 Радови у врхунским међународним часописима

1. Aleksendrić D., Jakovljević Ž., **Ćirović V.**, (2012) Intelligent control of braking process, Expert Systems with Applications 39/14, pp. 11758-11765. **IF: 1.924**

M23 Радови у међународним часописима

1. **Ćirović V.**, Aleksendrić D., Mladenović D., (2012) Braking torque control using recurrent neural networks, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering 226, pp. 754-766. **IF: 0.441**

M51 Рад у водећем часопису националног значаја

1. **Ćirović V.**, Aleksendrić D., (2011) Dynamic modelling of disc brake contact phenomena, FME Transactions, Vol. 39, pp. 177-183.

M33 Саопштења са међународних скупова штампана у целини

1. Aleksendrić D., **Ćirović V.**, (2012) Dynamic control of disc brake performance, SAE 2012 Annual Brake Colloquium and Exhibition, SAE Paper 2012-01-1837, San Diego, USA.
2. **Ćirović V.**, Aleksendrić D., Jakovljević Ž., Milković D., (2012) Simulation platform for intelligent braking system development, Innovative Automotive Technology – IAT 2012, 12th-13th April 2012, Dolenjske Toplice, Slovenia.
3. Aleksendrić D., Duboka Č., **Ćirović V.**, (2008) Intelligent control of disc brake operation, 26th Annual Brake Colloquium 2008, SAE Paper 2008-01-2570, Texas, USA.
4. **Ćirović V.**, Aleksendrić D., (2008) Intelligent control of automotive braking system, FISITA 2008 World Automotive Congress, F2008-SC-046, Munich, Germany.

5. Закључак и предлог

Докторска дисертација под називом „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“ кандидата **Велимира Ћировића**, дипл. инж. маш., представља савремен и оригиналан научни допринос динамичком моделирању, предвиђању и интелигентном управљању перформансама кочног система моторних возила у току циклуса кочења. На основу онога што је приказано у докторској дисертацији и чињенице да су анализирани комплексни утицаји на перформансе кочног система, односно

карактеристике клизања у контакту пнеуматик-тло, са задовољством се констатује да је кандидат **Велимир Ћировић**, дипл. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима. Кандидат је дошао до оригиналних резултата, који су верификовани у докторској дисертацији, што им обезбеђује велику применљивост у овој важној научној области везаној за унапређења рада система моторних возила одговорних за активну безбедност.

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“ кандидата **Велимира Ћировића**, дипл. инж. маш., Комисија за оцену и одбрану са посебним задовољством констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима у научно истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета Универзитета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да овај Извештај прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упуту Извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

С поштовањем,

Чланови Комисије за оцену и одбрану:

др Драган Александрић, ментор,
доцент Машинског факултета у Београду

др Бранко Васић,
редовни професор Машинског факултета у Београду

др Градимир Ивановић,
редовни професор Машинског факултета у Београду

др Зоран Миљковић,
редовни професор Машинског факултета у Београду

др Александра Јанковић,
редовни професор Факултета инжењерских наука у
Крагујевцу

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:1167/6
Датум: 12.07.2012.
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 12.2 Статута Машинског факултета Универзитета у Београду и члана 37. Правилника о докторским студијама, Наставно-научно веће на седници одржаној 12.07.2012. године, донело је

О Д Л У К У

I Прихвата се извештај о позитивној оцени урађене докторске дисертације коју је поднео ВЕЛИМИР ЋИРОВИЋ и одобрава јавна одбрана дисертације по добијању сагласности од Универзитета, под насловом: „ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ПЕРФОРМАНСИ КОЧНОГ СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА“

II Универзитет је дана 16.04.2010. године, својим актом број 020-1212/4-2/10 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата.

III Радови кандидата у часопису међународног значаја:

1. Aleksendrić D., Jakovljević Ž., **Ćirović V.**, (2012) Intelligent control of braking process, Expert Systems with Applications 39/14, pp. 11758-11765. **IF: 1.924**
2. **Ćirović V.**, Aleksendrić D., Mladenović D., (2012) Braking torque control using recurrent neural networks, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering 226, pp. 754-766. **IF: 0.441**

Одлуку доставити: кандидату, ментору, Катедри за моторна возила и архиви факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић