

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

927/5
(Број захтева)Већу научних области техничких наука(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)02.06.2016.
(Датум)

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

ОПТИМИЗАЦИЈА ФУНКЦИОНАЛНИХ КАРАКТЕРИСТИКА ФРИКЦИОНИХ
МАТЕРИЈАЛА КОЧНИЦА МОТОРНИХ ВОЗИЛА ПРИМЕНОМ ВЕШТАЧКЕ
ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Моторна возила

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: ДУШАН (ИЛИЈА) СМИЉАНИЋ
2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд
3. Година дипломирања: 2012.
4. Назив магистарске тезе кандидата: _____
5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____
6. Година одбране магистарске тезе: _____
7. Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____

Година уписа докторских студија: 2012Обавештавамо Вас да је _____
Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 02.06.2016
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 927/5
Датум: 02.06.2016. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Душана Смиљанића**, дипл. инж. маш., бр. 927/1 од 20.04.2016. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Драган Александрић, ванр. проф., др Бранко Васић, ред.проф. и др Велимир Ћировић, научни сарадник, И.Ц. М.Ф. Београд, број 927/4 од 01.06.2016. године, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 02.06.2016. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **ДУШАН СМИЉАНИЋ**, дипл. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«ОПТИМИЗАЦИЈА ФУНКЦИОНАЛНИХ КАРАКТЕРИСТИКА ФРИКЦИОНИХ МАТЕРИЈАЛА КОЧНИЦА МОТОРНИХ ВОЗИЛА ПРИМЕНОМ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ»**.

За ментора студенту **Душану Смиљанићу**, именује се др Драган Александрић, ванр. проф.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата Душана Смиљанића дипл.инж. машинства, студента докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду за израду докторске дисертације под називом **„Оптимизација функционалних карактеристика фрикционих материјала кочница моторних возила применом вештачке интелигенције“**.

Одлуком Наставно научног већа бр. 927/3 од 12.05.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Душана Смиљанића дипл. инж. машинства, студента докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Оптимизација функционалних карактеристика фрикционих материјала кочница моторних возила применом вештачке интелигенције“**.

На основу материјала приложеног уз захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

Предложени назив докторске дисертације:

„Оптимизација функционалних карактеристика фрикционих материјала кочница моторних возила применом вештачке интелигенције“

1. Подаци о кандидату

1.1. Основни биографски подаци

Кандидат Душан Смиљанић је рођен 31. јануара 1980. године у Книну, СФРЈ. По националности је Србин и држављанин Републике Србије. Основну школу „Никола Тесла“ је завршио у Книну 1994. године, а Гимназију „Прва Београдска гимназија“ у Београду 1998. године. На Машински факултет Универзитета у Београду уписао се 1998. године. Уписом у трећу годину студија се определио за одсек Моторна возила. Машински факултет је завршио 2012. године са просечном оценом 7,60 (седам и 60/100). Дипломирао је 05. јула 2012. године и том приликом одбранио дипломски рад, из предмета Одржавање возила, под називом „Дијагностика стања електронски управљаних система моторних возила“ са оценом 10 (десет) на дипломском раду. Исте године се

уписао на последипломске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду и постао студент докторских студија. Породични статус – неожењен.

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 возила, примена метода вештачке интелигенције у области моторних возила, развој фрикционих материјала кочница моторних возила. Паралелно са истраживачким, укључује се и у наставне активности на Машинском факултету у Београду, тако што је држао аудиторне вежбе на предметима Пројектовање возила 1, Безбедност возила као и лабораторијске вежбе из предмета Системи возила.

Учествује у раду Лабораторије за безбедност моторних и прикључних возила (ЛаБМВ) од њеног оснивања 2009. године. Од 07.05.2015. запослен је на Машинском факултету као водећи испитивач у Лабораторији за безбедност моторних и прикључних возила (ЛаБМВ). У оквиру Лабораторије ради на спровођењу великог броја испитивања везаних за кочне системе моторних и прикључних возила, а посебно у оквиру хомологацијских испитивања кочних система возила према захтевима Правилника UNECE 13. и Правилника UNECE 90.

Енглески језик чита и пише. Влада савременим програмским пакетима MS Office, Matlab, CATIA, и други.

1.2. Сечено научно-истраживачко искуство

Кандидат је од уписа на докторске студије у школској години 2012/13. успешно положио све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са просечном оценом 10 (десет). Према оквиру плана и програма кандидат је успешно одбранио Пројекат идеје докторске дисертације пред комисијом у саставу:

Др Драган Александрић, ванредни професор, Машински факултет Универзитета у Београду

Др Бранко Васић, редовни професор, Машински факултет Универзитета у Београду

Др Зоран Миљковић, редовни професор, Машински факултет Универзитета у Београду

Сагласно програму за докторске студије кандидат је са положеним испитима, ангажовањем у наставном процесу, истраживањима и публикованим радовима и одбрањеним Пројектом идеје докторске дисертације, остварио потребан број бодова чиме је испунио услов за пријаву докторске дисертације.

Држање наставе

Кандидат је као сарадник, од уписа докторских студија 2012. године до подношења захтева за одобрење дисертације, активно учествовао у држању наставе на Катедри за Моторна возила Машинског факултета Универзитета у Београду као предметни сарадник (аудиторне вежбе, лабораторијске вежбе и преглед пројектних задатака) на основним академским студијама на предметима Пројектовање возила 1, Системи возила, Безбедност возила.

Преглед положених испита

ЕСПВ	Прва година (школска 2011/12.)		Друга година (школска 2012/13.)	
	I сем.	II сем.	III сем.	IV сем.
5	Виши курс математике Проф. др С. Радојевић оцена: 10 (десет)	Одабрана поглавља из механике Проф. др Ј. Вуковић Оцена: 10 (десет)	Форензичко инжењерство- посебна поглавља Проф. др Бранко Васић оцена: 10 (десет)	Истраживање и публикавање 4 Проф. др Драган Александрић оцена: 10 (десет)
5	Нумеричке методе Проф. др М. Спалевић оцена: 10 (десет)	Поузданост возила Проф. др Бранко Васић Оцена: 10 (десет)	Електронски управљани системи моторних возила Проф. др Драган Александрић оцена: 10 (десет)	Пројекат идеје докторске дисертације оцена: 10 (десет)
5	ОМНИР и комуникација Проф. др М. Недељковић оцена: 10 (десет)	Кочење моторних возила-посебна поглавља Проф. др Драган Александрић оцена: 10 (десет)	Истраживање и публикавање 3 Проф. др Драган Александрић оцена: 10 (десет)	
5	Вештачка интелигенција моторних возила Проф. др Драган Александрић оцена: 10 (десет)	Истраживање и публикавање 2 Проф. др Драган Александрић оцена: 10 (десет)		
10	Истраживање и публикавање 1 Проф. др Драган Александрић оцена: 10 (десет)			
Укупно ЕСПВ	5+5+5+5+10=30	5+5+5+15=30	5+5+20=30	8+22=30
Просечна оцена	10			
Напомена:				
- кандидат је положио 4 обавезна, 5 изборних предмета, 4 предмета везана за истраживања и публикавања и одбранио је Пројекат идеје докторске дисертације.				

Списак објављених радова

▪ Радови у врхунском међународном часопису (M21)

1. Ćirović V., Aleksendrić D., **Smiljanić D.**: *Longitudinal wheel slip control using dynamic neural networks*, Mechatronics, Vol 23, 2013, pp. 135-146. ISSN: 0957-4158 IF: 1.823

▪ Радови у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24)

1. Ćirović V., **Smiljanić D.**, Aleksendrić D.: *Neuro-genetic optimization of disc brake performance at elevated temperatures*, FME Transactions, Vol 42, 2014, pp. 142-149. ISSN:1451-2092

▪ Научни радови на конференцијама међународног значаја штампани у целини (M33)

1. **Смиљанић Д.**, Ћировић В., Александрић Д.: *Мониторинг перформанси и дијагностика отказа кочног система привредних возила*, X Међународни симпозијум Истраживања и пројектовања за привреду, Машински факултет Универзитета у Београду, 2014, стр. 293-301. ISBN 987-86-84231-35-4
2. Ćirović V., **Smiljanić D.**, Aleksendrić D.: *Identification and control of adhesion conditions during braking of motor vehicles*, Second International Conference Modern methods of testing and evaluation in science NANT, Belgrade 2015 pp. 76-84. ISBN: 97886-918415-1-5
3. Ћировић В., Васић Б., Александрић Д.: Станојевић Н., **Смиљанић Д.**, *Адаптивно неуро-фази управљање кочењем*, XI Међународни симпозијум Истраживања и пројектовања за привреду, Машински факултет Универзитета у Београду, 2015, стр. 193-200. ISBN 987-86-84231-38-5

▪ Научни радови на конференцијама националног значаја штампани у целини (M63)

1. **Смиљанић Д.**, Ћировић В., Александрић Д.: *Испитивање исправности рада АБС система на кочним ваљцима*, Прва научно-стручна конференција „Савремене методе испитивања и евалуације у науци“ NANT 2014, Научно друштво за развој и афирмацију нових технологија, 2014, стр. 65-71. ISBN: 978-84-911732-3-4, COBISS.SR-ID 187342577

▪ Техничка и развојна решења (M85)

1. Александрић Д., Ћировић В., **Смиљанић Д.**: *Метода за оцену услова приањања коченог точка у подужном правцу помоћу фази логике*. Одлука Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 1073/3 од 27.11.2015. Машински факултет Универзитета у Београду 2015.

2. Предмет и циљ истраживања

2.1. Предмет истраживања

- Предмет докторске дисертације су комплексна теоријска и експериментална истраживања у циљу развоја модела уз помоћ којег се може вршити оптимизација састава фриксионог материјала диск кочница привредних возила као и услова њихове производње, а у циљу побољшања његових функционалних карактеристика (трења и хабања).
- Имајући у виду да се помоћу класичних математичких метода не могу моделирати сложени стохастички утицаји на функционалне карактеристике фриксионих материјала диск кочница привредних возила, јавља се потреба за применом других софистицираних метода. Због тога је предмет истраживања у овој докторској дисертацији усмерен на методе из домена вештачке интелигенције.
- Предмет истраживања докторске дисертације је развој хибридног оптимизационог модела на бази техника вештачке интелигенције (фази логике, вештачких неуронских мрежа и интелигенције ројева) у сврху развоја модела којим би се вршила оптимизација састава и услова производње фриксионих материјала у односу на постављене критеријуме у погледу вредности трења и хабања током експлоатације.
- За конкретну реализацију теоријских и експерименталних истраживања у оквиру докторске дисертације се предвиђа коришћење одговарајуће савремене мерне опреме за испитивање перформанси фриксионих материјала као и уређаја за аквизицију података, односно примену савремених софтверских пакета са интегрисаним окружењима за рад са поменутим методама вештачке интелигенције.
- Преглед релевантне литературе и резултата.

2.2. Циљ истраживања

- Научни циљ истраживања у оквиру ове дисертације је да се применом савремених теоријских и експерименталних метода развије хибридни модел за оптимизацију састава и услова производње фриксионих материјала диск кочница привредних возила у циљу побољшања њихових функционалних карактеристика, кроз истовремено повећање трења, обезбеђење стабилности трења и смањење хабања у различитим радним условима диск кочнице.
- Суштина проблема у овој области јесте како направити фриксиони материјал диск кочница привредних возила са што бољим фриксионим својствима (високом средњом максималном вредношћу коефицијента трења) у различитим радним режимима (ниским и високим температурама у контакту фриксионог пара, различитим притисцима активирања и различитим брзинама кочења,...) и тако обезбедити стабилност трења и истовремено смањити вредност хабања фриксионих материјала, односно повећати радни век фриксионог материјала.

С обзиром на мултидисциплинарност постављене теме докторске дисертације, а у вези са предметним истраживањима, релевантни библиографски извори могу бити груписани у неколико целина и то:

- Истраживање утицаја састава, начина производње и промене односа производних сировина фрикционих материјала кочнице на њене излазне перформансе

- [1] Singha, T., Patnaikb, A., Chauhanc, R.: *Optimization of tribological properties of cement kiln dust-filled brake pad using grey relation analysis*, Materials & Design, Vol. 89, 2016, pp. 1335–1342.
- [2] Mutlu, I., Eldogan, O., Findik, F.: *Tribological properties of some phenolic composites suggested for automotive brakes*, Tribology International, Vol. 39, Issue 4, 2006, pp. 317-325, ISSN 0301-679X.
- [3] Uyyuru, R.K., Surappa, M.K., Brusethaug, S.: *Tribological behavior of Al-Si-SiCp composites/automobile brake pad system under dry sliding conditions*, Tribology International, Vol. 40, Issue 2, First International Conference on Advanced Tribology (iCAT 2004), 2007, pp. 365-373, ISSN 0301-679X.
- [4] Stadler, Z., Krnel, K., Kosmac, T.: *Friction behavior of sintered metallic brake pads on a C/C-SiC composite brake disc*, Journal of the European Ceramic Society, Volume 27, Issues 2-3, Refereed Reports IX Conference & Exhibition of the European Ceramic Society, IX Conference & Exhibition of the European Ceramic Society, 2007, pp. 1411-1417, ISSN 0955-2219.
- [5] Belhocine, A., Wan Omar, W.Z.: *A numerical parametric study of mechanical behavior of dry contact slipping on the disc–pads interface*, Alexandria Engineering Journal, 2016.
- [6] Österlea, W., Deutscha, C., Gradta, T., Orts-Gila, G., Schneidera, T., Dmitrievb, A.I.: *Tribological screening tests for the selection of raw materials for automotive brake pad formulations*, Tribology International, Vol. 73, 2014, pp. 148–155.
- [7] Aleksendrić, D., Duboka, Č.: *A Neural Model of Friction Material Behavior*, 24th Annual Brake Qolloquium 2006, October 8-11, Texas, USA, SAE Paper 2006-01-3200, 2006.
- [8] Bijwe, J., Kumar, M.: *Optimization of steel wool contents in non-asbestos organic (NAO) friction composites for best combination of thermal conductivity and tribo-performance*, Wear, Vol. 263, Issues 7-12, 16th International Conference on Wear of Materials, 2007, pp. 1243-1248, ISSN 0043-1648.
- [9] Osterle, W., Urban, I.: *Third body formation on brake pads and rotors*, Tribology International, Vol. 39, Issue 5, Development of Surface Topography in Friction Processes, 2006, pp. 401-408, ISSN 0301-679X.
- [10] Yawas, D.S., Aku, S.Y., Amaren, S.G.: *Morphology and properties of periwinkle shell asbestos-free brake pad*, Journal of King Saud University - Engineering Sciences, Vol. 28, Issue 1, 2016, pp. 103–109.
- [11] Patnaik, A. Kumar, M. Satapathy B. Tomar, B.: *Performance sensitivity of hibrid phenolic composites in friction braking: Effect of ceramic and aramid fibre combination*, Wear Vol. 269, Issues 11-12, 2010, pp 891–899.
- [12] Liew, K.W., Nirmal, U.: *Frictional performance evaluation of newly designed brake pad materials*, Materials & Design, Vol. 48, 2013, pp. 25–33.

- [13] Singha, T. , Patnaikb, A.: *Performance assessment of lapinus–aramid based brake pad hybrid phenolic composites in friction braking*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. 15, Issue 1, 2015, pp. 151–161.
- [14] Ma, Y., Martynkova, G.S., Valaskova, M., Matejka, V., Lu, Y.: *Effects of ZrSiO₄ in non-metallic brake friction materials on friction performance*, Tribology International, Vol. 41, Issue 3, 2008, pp. 166–174.
- [15] Boz, M., Kurt, A.: *The effect of Al₂O₃ on the friction performance of automotive brake friction materials*, Tribology International, Vol. 40, Issue 7, 2007, pp. 1161–1169.
- [16] Lia, Z., Liua, Y., Zhanga, B., Lua, Y., Lia, Y., Xiaoa, P.: *Microstructure and tribological characteristics of needled C/C–SiC brake composites fabricated by simultaneous infiltration of molten Si and Cu*, Tribology International, Vol. 93, Part A, 2016, pp. 220–228.
- [17] Wang, F., Gu, K.K., Wang, W.J., Liu, Q.Y., Zhu, M.H.: *Study on braking tribological behaviors of brake shoe material under the wet condition*, Wear, Vols. 342–343, 2015, pp. 262–269.
- [18] Zhang, S., Wang, F.: *Comparison of friction and wear performances of brake materials containing different amounts of ZrSiO₄ dry sliding against SiCp reinforced Al matrix composites*, Materials Science and Engineering: A, Vol. 443, Issues 1–2, 2007, pp. 242–247.
- [19] Qi, H.S., Day, A. J.: *Investigation of disc/pad interface temperatures in friction braking*, Wear, Vol. 262, Issues 5–6, 2007, pp. 505–513, ISSN 0043-1648.

Истраживања објављена у [2-5] се у општем случају односе на промене излазних перформанси кочница моторних возила услед утицаја различитог састава фриксионих материјала, микроструктуре [6], начина њихове производње, хабања [10-12] као и утицаја постојања [13-15,16] и процентуалног удела различитих сировина у њиховом саставу [8,17]. Истраживани су, такође, и утицаји услова трења у контакту фриксионог пара, заједно са утицајима појединих радних режима кочнице и услова испитивања [16]. У [1,17] истраживани су утицаји стања у контакту фриксионих површина диска и кочне облоге, а у [9] је разматран утицај формирања тзв. трећег тела у контакту фриксионог пара на перформансе кочнице, док је генерално у свим радовима [2-19] врло детаљно и прецизно истражен утицај повишене температуре у контакту фриксионог пара. Посебна пажња је посвећена комплексној и непредвидивој (стохастичној) природи читавог процеса који се одвија у контакту фриксионог пара током кочења у комбинацији са утицајима који настају као резултат радних режима кочнице. Генерално, највећа пажња је посвећена проблемима који прате развој фриксионих материјала елемената кочница моторних возила и могућностима унапређења самог развојног процеса. Будући да перформансе кочног система, односно кочница као главних извршних елемената првенствено зависе од перформанси фриксионог пара, јасно је да су истраживања објављена у наведеним радовима од изузетног значаја за даљи рад на пољу унапређења перформанси кочница, односно кочног система моторних возила.

- Моделирање перформанси кочница

- [1] Aleksendrić, D., Duboka, Č., Gotowicki, P.F., Mariotti, G.V., Nigrelli, V.: *Braking procedure analysis of a pegs-wing ventilated disk brake rotor*, Int. J. Vehicle Systems Modelling and Testing, Vol. 1, No. 4, 2006, pp. 233-252.
- [2] Aleksendrić, D., Duboka, Č.: *Fade performance prediction of automotive friction materials by means of artificial neural networks*, Wear, Vol. 262, Issues 7-8, 2007, pp. 778-790.
- [3] Bakar, A. Ouyangb, H.: *Wear prediction of friction material and brake squeal using the finite element method*, Wear, 2008, pp. 1069-1076.
- [4] Desplanquesa, Y., Roussettea, O., Degallaixa, G., Copinb, R., Berthierc, Y.: *Analysis of tribological behaviour of pad-disc contact in railway braking: Part 1. Laboratory test development, compromises between actual and simulated tribological triplets*, Wear, Vol. 262, Issues 5-6, 2007, pp. 582-591.
- [5] Vermaa, P.C., Menapacea, L., Bonfantib, A., Ciudina, R., Gialanellaa, S., Straffelinia, G.: *Braking pad-disc system: Wear mechanisms and formation of wear fragments*, Wear, Vol. 322-323, 2015, pp. 251-258.
- [6] Aleksendrić, D., Duboka, Č.: *Fade performance prediction of automotive friction materials by means of artificial neural networks*, Wear, Vol. 262, Issues 7-8, 2007, pp. 778-790.
- [7] Aleksendrić, D., Duboka, Č.: *Prediction of automotive friction material characteristics using artificial neural networks-cold performance*, Wear, Vol. 261, Issues 3-4, 2006, pp. 269-282.
- [8] Ray, S., Chowdhury, S. K. R.: *Prediction of contact temperature rise between rough sliding bodies: An artificial neural network approach*, Wear, Vol. 266, Issues 9-10, 2009, pp. 1029-1038.
- [9] Aleksendrić, D.: *Neural networks in automotive brakes' friction material development*, PhD thesis, Faculty of Mechanical Engineering University of Belgrade, (In Serbian), 2007.
- [10] Aleksendrić, D., Barton, D. C.: *Neural network prediction of disc brake performance*, Tribology International, Vol. 42, Issue 7, 2009, pp. 1074-1080.
- [11] Ćirović, V., Aleksendrić, D.: *Development of neural network model of disc brake operation*, FME Transactions, Vol. 38, Issue 1, 2010, pp. 29-38.

Референце из ове групе се генерално односе на моделирање перформанси нелинеарних система, а посебно на развој модела перформанси кочница. Циљеви истраживања наведених радова су усмерени на начине и технике предвиђања перформанси кочница [1,9], као и на развој и предвиђање перформанси фриксионих материјала у смислу побољшања и унапређења њихових карактеристика [2,4,5,6,8]. Истраживано је на који начин различити радни режими кочења и карактеристике састава и услова производње фриксионих материјала утичу на излазне перформансе добијених модела рада кочница [9-11]. Показано је да је моделирање перформанси фриксионих материјала и перформанси кочница веома комплексан задатак јер укључује велики број одлука које могу бити од суштинског значаја за укупан квалитет развијених модела. Аутори се у [4,5,7] баве истраживањем феномена у контакту фриксионих површина кочнице, као и какав утицај промена температуре у контакту фриксионог пара кочнице и промена температуре кочне течности код хидрауличког преносног механизма [3] имају на перформансе кочница, односно кочног система. Детаљнији приступ примени технике вештачких неуронских мрежа у моделирању рада нелинеарних система и начинима њиховог управљања дат је у [8]. Значај истраживања спроведених у овим радовима се огледа у томе да она несумњиво представљају

основ за даља истраживања и развој кочних система са интелигентним особинама, као и развој нових симулационих метода у циљу смањења обима поступака испитивања карактеристика кочних система него што је то случај данас.

■ Примена техника вештачке интелигенције

- [1] Xiao, G., Zhu, Z.: *Friction materials development by using DOE/RSM and artificial neural network*, Tribology International, Vol. 43, Issues 1-2, 2009, pp. 218-227, ISSN 0301-679X.
- [2] Aleksendrić, D., Barton, C.B., Vasić, B.: *Prediction of brake friction materials recovery performance using artificial neural networks*, Tribology International, Vol. 43, Issue 11, 2010, pp. 2092–2099.
- [3] Senatore, A., D'Agostino, V., Di Giuda, R., Petrone, V.: *Experimental investigation and neural network prediction of brakes and clutch material frictional behaviour considering the sliding acceleration influence*, Tribology International, Vol. 44, Issue 10, 2011, pp. 1199–1207.
- [4] Demuth, H., Beale, M.: *Neural network toolbox for use with MATLAB*, Users guide ver. 6.0.1, The Mathworks Inc., 2006.
- [5] Larose, D. T.: *Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining*, John Wiley & Sons, 2005.
- [6] Liu, Z. Lu, J. Zhu, P.: *Lightweight design of automotive composite bumper system using modified particle swarm optimizer*, Composite Structures, Vol. 140, 2016, pp. 630-643.
- [7] Omkar, S.N., Khandelwal, R., Ananth, T.V.S., Narayana N. G., Gopalakrishnan, S.: *Quantum behaved Particle Swarm Optimization (QPSO) for multi-objective design optimization of composite structures*, Expert Systems with Applications, Vol. 36, 2009, pp. 11312–11322.
- [8] Guedria, B. N.: *Improved accelerated PSO algorithm for mechanical engineering optimization problems*, Applied Soft Computing, Vol. 40, 2016, pp. 455–467.
- [9] Yingjie X., Tao Y.: *Minimizing thermal residual stresses in ceramic matrix composites by using Iterative MapReduce guided particle swarm optimization algorithm*, Composite Structures, Vol. 99, 2013, pp. 388-396.
- [10] Gershenson, C.: *Artificial Neural Networks for Beginners*, August 2003.
- [11] Wang, Y.F., Wang, D.H., Chai T.Y.: *Modeling and control compensation of nonlinear friction using adaptive fuzzy systems*, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 23, Issue 8, 2009, pp. 2445–2457.
- [12] Samarjit, K., Sujit D., Pijush K. G.: *Applications of neuro fuzzy systems: A brief review and future outline*, Applied Soft Computing, Vol. 15, 2014, pp. 243–259.
- [13] Suraneni, S., Kar, I.N., Ramana Murthy, O.V., Bhatt, R.K.P.: *Adaptive stick-slip friction and backlash compensation using dynamic fuzzy logic system*, Applied Soft Computing, Vol. 6, Issue 1, 2005, pp. 26–37.

Издвојени радови садрже истраживања о могућностима примене метода вештачке интелигенције (фази логике [12-14], вештачких неуронских мрежа [1-6,11] и интелигенције ројева [7-10]) за моделирање рада различитих нелинеарних система. У [1,2,11] је посебно потенцирана примена ових метода у предвиђању перформанси фриксионих материјала кочница моторних возила и

осталих система који раде на принципу трења. Осим примене наведених метода вештачке интелигенције у моделирању рада система понаособ, дати су и резултати њиховог комбиновања у једну, тзв. хибридную методу [9-10]. У свим наведеним радовима приоритет је да се покаже на који начин је могуће моделирати карактеристике неког нелинеарног система уз помоћ неке од техника вештачке интелигенције (појединачно или у синергији са неколико осталих метода) и на тај начин побољшати његове перформансе. У [7-10] посебна пажња је посвећена примени технике Интелигенције ројева у сврху оптимизације различитих композитних материјала.

3. Полазне хипотезе

При дефинисању предмета и циља истраживања у предложеној докторској дисертацији полази се од следећих хипотеза:

- Да је могуће на основу познатог састава фрикционог материјала и услова производње успоставити функционалну зависност са променом трења и хабања фрикционих материјала у различитим радним режимима диск кочница привредних возила.
- Да је на бази развијеног модела примене трења и хабања фрикционог материјала у зависности од састава и услова његове производње могуће развити оптимизациони модел, на бази техника вештачке интелигенције, који ће омогућити оптимизацију састава фрикционог материјала и његових производних услова.
- Да је за развој оптимизационог модела трења и хабања потребно извршити довољан број испитивања фрикционог материјала у контролисаним условима на динамометријском инерционом пробном столу са диск кочницом привредног возила у правој сразмери.

4. Научне методе истраживања

Током истраживања могућности примене метода вештачке интелигенције за оптимизацију карактеристика фрикционих материјала за кочнице привредних возила кандидат истиче да ће се користити неколико различитих метода:

1. Експерименталне методе за мерење момента кочења, притиска активирања кочнице, температуре у контакту фрикционих парова кочнице, као и промене угаоне брзине коченог диска током испитивања фрикционих материјала у различитим радним условима диск кочнице.
2. Математичке методе за статистичку обраду измерених података.
3. Методе вештачке интелигенције – фази логика, вештачке неуронске мреже и интелигенција ројева.

4. Интеграција метода (техника) вештачке интелигенције у циљу развоја нове оптимизационе методе за динамичко моделирање и интелигентну оптимизацију функционалних карактеристика фриксионог материјала.

5. Очекивани научни допринос

5.1. Очекивани научни резултати у предложеној области истраживања

Полазећи од циља научних истраживања у предложеној докторској дисертацији очекују се како научни, тако и стручни допринос. Изучавање наведених проблема представља окосницу савременог приступа у развоју сложених композитних материјала какви су фриксиони материјали диск кочница привредних возила. Пред савремена привредна возила, а тиме и све системе у њиховом саставу постављају се врло комплексни захтеви, првенствено у погледу активне безбедности. Због тога се захтева непрекидно унапређење развоја кочних система као једног од најважнијих система возила у погледу обезбеђења високог нивоа активне безбедности моторних и прикључних возила. У складу са постављеним циљевима, садржајем и поступцима истраживања очекивани научни допринос докторске дисертације се огледа у следећем:

- Развој интелигентног модела перформанси фриксионог материјала, помоћу метода вештачке интелигенције, способног за успостављање функционалне везе између састава фриксионог материјала и услова производње у односу на промену трења у различитим радним условима диск кочнице привредног возила.
- Развој интелигентног оптимизационог модела поузданости фриксионог материјала, помоћу метода вештачке интелигенције, способног за успостављање функционалне везе између састава фриксионог материјала и услова производње у односу на промену хабања фриксионог материјала у различитим радним условима диск кочнице привредног возила.
- Развој интелигентног оптимизационог модела којим је могуће извршити оптимизацију између промене трења и хабања фриксионог материјала диск кочница привредних возила у различитим радним условима возила.

5.2. Стручни резултати и могућности њихове примене у техничкој пракси

- Примена резултата истраживања је директно у аутомобилској индустрији, развоју нових кочних система привредних возила и нарочито индустрији која се бави развојем и производњом фриксионих материјала диск кочница привредних возила.

6. План истраживања и структура рада

6.1. Технологија рада на дисертацији

Истраживања у оквиру дисертације су сложена и интердисциплинарна. То захтева и одређену технологију у међусобном повезивању теоријских и експерименталних поступака, што је и предвиђено постављеним програмом рада.

6.2. Редослед истраживања

Према предвиђеном програму израде докторске дисертације најпре се истражује тренутно стање у области рада и развоја, пре свега, фрикционих материјала кочница моторних возила. Затим се дефинише програм и циљ истраживања. Следе анализа свих релевантних параметара који утичу на функционалне карактеристике фрикционог материјала, анализа састава материјала, анализа услова производње и анализа карактеристика и могућности техника вештачке интелигенције за моделирање тражених функционалних веза и касније коришћење тих модела у циљу оптимизације.

Потом се приступа истраживањима која се односе на могућности развоја интелигентног модела. Због немогућности добијања егзактних решења, истраживања захтевају експерименте, нумеричко-статистичке методе и методе паралелног процесирања. Сагласно томе, неопходно је пројектовати експериментални део истраживања, направити одређени број узорака кочних облога диск кочница привредних возила са различитим саставима и технологијама производње, предвидети потребну опрему и уређаје за испитивање, као и анализирати резултате мерења. Наредни корак представља анализу експериментално добијених података и спровођење поступка њихове обраде, на бази паралелног процесирања, у циљу развоја интелигентних модела трења и хабања. На основу претходних истраживања ће се развити нов интелигентни модел за оптимизацију функционалних карактеристика фрикционих материјала диск кочница привредних возила.

6.3. Структура предвиђених фаза и активности

На основу претходних разматрања формира се план експерименталних истраживања са фазама мерења и обраде мерних података, као и редоследом појединих активности у вези са потпуном припремом и опремањем мерне инсталације. Сви наведени елементи су садржани у детаљном плану истраживања.

6.4. Структура рада и преглед поглавља у предложеној докторској дисертацији

Према предвиђеном плану истраживања и редоследу спровођења појединих активности општа структура докторске дисертације са радним насловом

„Оптимизација функционалних карактеристика фрикционих материјала кочница моторних возила применом вештачке интелигенције“.

је следећа:

1. Увод.

2. Предмет и циљ истраживања.

3.1 Предмет истраживања.

3.2 Циљ истраживања.

3. Преглед стања у области истраживања.

4. Фрикциони материјал кочница моторних возила.

4.1. Увод.

4.2. Карактеристике и задатци фрикционог материјала

4.3. Састав фрикционог материјала

4.4. Својства фрикционог материјала

4.5. Технологија и услови производње фрикционог материјала

4.6. Термо-механичка оптерећења фрикционог материјала

4.7. Феномени у контакту фрикционих површина кочнице

4.6. Перформансе фрикционог материјала

4.7. Хабање фрикционог материјала

5. Основне карактеристике метода вештачке интелигенције

5.1. Појам вештачке интелигенције

5.2. Примена у решавању инжењерских проблема

5.3. Најпознатије методе у области вештачке интелигенције

5.4. Вештачке неуронске мреже

5.4.1. Увод

5.4.2. Преглед развоја вештачких неуронских мрежа

5.4.3. Основне карактеристике

5.4.4. Биолошке основе

5.4.5. Вештачки неурон

5.4.6. Архитектура неуронске мреже

5.4.7. Подела вештачких неуронских мрежа

5.4.8. Обучавање вештачких неуронских мрежа

5.4.9. Пројектовање структуре неуронске мреже

5.4.10. Моделирање помоћу вештачких неуронских мрежа

5.5. Фази логика

5.5.1. Увод

5.5.2. Фази логика и управљање

5.5.3. Фази скупови и функције припадања

5.5.4. Логичке операције и „ако-онда“ правила

5.5.5. Систем фази управљања

5.5.6. Структура фази контролера

5.6. Интелигенција ројева

5.6.1 Увод

5.6.2. Биолошка основа

5.6.3. Основне карактеристике интелигенције ројева

5.6.4. Интелигенција ројева и оптимизација

6. Предвиђање и оптимизација функционалних карактеристика материјала кочница моторних возила

- 6.1. Увод
- 6.2. Експериментална истраживања
- 6.3. Обрада измерених података
- 6.4. Одабир и класификација улазних величина
- 6.5. Развој модела перформанси фрикционог материјала кочнице
 - 6.5.1. Избор архитектура динамичких неуронских мрежа и одговарајућих алгоритама учења
 - 6.5.2. Обука неуронских мрежа
 - 6.5.3. Тестирање развијених неуронских модела перформанси фрикционог материјала
 - 6.5.4. Избор неуронског модела који показује најбоље резултате предвиђања
 - 6.5.5. Верификација „перформанси“ предвиђања развијеног неуронског модела
- 6.6. Развој хибридног модела перформанси фрикционог материјала кочнице помоћу комбинованог неуро-фази приступа
 - 6.6.1. Увод
 - 6.6.2. Фази логика
 - 6.6.3. Развој фази логичке подршке
 - 6.6.4. Дефинисање функција припадања и фази логичких правила
 - 6.6.5. Тестирање развијених неуро-фази модела перформанси фрикционог материјала
- 6.7. Оптимизација функционалних карактеристика фрикционог материјала кочнице помоћу интелигенције ројева
 - 6.7.1. Избор улазних и излазних параметара оптимизационог модела
 - 6.7.2. Дефинисање критеријума оптимизације
 - 6.7.3. Избор сета параметара за подешавање процеса оптимизације
 - 6.7.4. Неуро-фази модел као функција циља процеса оптимизације
 - 6.7.5. Оптимизација функционалних карактеристика фрикционих материјала
 - 6.7.6. Тестирање и верификација оптимизационог модела у погледу задовољења критеријума

7. Закључак

8. Литература

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу анализе пријаве теме докторске дисертације кандидата Душана Смиљанића, дипл.инж.маш., број индекса Д 25/12, Комисија за подношење извештаја о прихватању теме и

оцену научне заснованости докторске дисертације закључује да је предложена тема научно заснована и адекватна за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава законске и друге услове за рад на предметној докторској дисертацији, тако да предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да кандидату

Душану Смиљанићу, дипл.инж.маш.

одобри израду докторске дисертације са темом

„Оптимизација функционалних карактеристика фрикционих материјала кочница моторних возила применом вештачке интелигенције“

научна област: **машинство.**

За **ментора** кандидата током рада на овој докторској дисертацији предлаже се **Др Драган Александрић**, ванредни професор Машинског факултета у Београду.

С поштовањем,

У Београду, 25.05.2016. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Проф. Др Драган Александрић,
Универзитет у Београду, Машински факултет
Потенцијални ментор

Проф. Др Бранко Васић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Др Велимир Ћировић,
Научни сарадник, Иновациони центар
Машинског факултета Универзитета у Београду

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: Драган Александрић

Звање: Ванредни професор

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Aleksendrić D.**, Jakovljević Ž., Ćirović V. Intelligent control of braking process, Expert Systems with Applications, 39/14, 2012, pp. 11758-11765.
IF= 1,926 ISSN 0957-4174,
2. Ćirović V., **Aleksendrić D.** Adaptive neuro-fuzzy wheel slip control, Expert Systems with Applications, 40/13, 2013, pp. 5197-5209.
IF= 2,2 ISSN 0957-4174
3. **Aleksendrić D.**, Senatore A. Optimization of manufacturing process effects on brake friction material wear, Journal of Composite Material, 46 (22), 2012, pp. 2777-2791.
IF=0,971 ISSN 0021-9983
4. Ćirović V., **Aleksendrić D.**, Smiljanić D. Longitudinal wheel slip control using dynamics neural networks, Mechatronics **23**, 2013, pp. 135-146, 2013.
IF= 1,255 ISSN 0957-4158
5. Carlone P., **Aleksendrić D.**, Ćirović V. Palazzo G. Meta-modeling of the curing process of thermoset matrix composites by means of a FEM-ANN approach, Composite Part B: Engineering, Vol. 67, 2014, pp. 441-448.
IF=2,983 ISSN 1359-8368.

(навести најмање један рад у случају менторства дисертације која се пријављује до 31.12.2008. године, односно најмање три рада у случају менторства дисертације која се пријављује у периоду од 1.01.2009. до 31.12.2009. године, односно најмање пет радова у случају менторства дисертације која се пријављује почев од 1.01.2010. године)

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
