



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

01-112545  
14.07-12 год

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**  
**ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА И ВЕЋУ ЗА**  
**ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА У**  
**КРАГУЈЕВЦУ**

**Предмет:** Извештај комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације и испуњености услова кандидата Петра Мишљена, дипл.инж. електронике

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу Број IV-04-702/21 од 11.07.2017. године именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата Петра Мишљена, дипл.инж. електронике као и оцену теме докторске дисертације под насловом:

**„УПРАВЉАЧКЕ СТРУКТУРЕ ВИБРАЦИОНОГ**  
**ТРАНСПОРТА РАСУТИХ МАТЕРИЈАЛА БАЗИРАНОГ НА**  
**ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИМ АКТУАТОРИМА“**

која припада научној области Машинско инжењерство и ужој научној области Аутоматско управљање. На основу увида у приложу документацију, Комисија подноси Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу следећи:

**ИЗВЕШТАЈ**

**1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада**

У предложеном нацрту докторске дисертације кандидат је дао образложен предмет истраживања наводећи актуелност и значај истраживања у области изучавања понашања електромагнетних вибрационих транспортера.

Вибрациони транспортери су нашли примену у процесној индустрији и користе се за манипулацију расутих и растреситих материјала (транспорт, дозирање, просејавање, ...). Значајна су истраживања у области проучавања понашања електромагнетних вибрационих транспортера у пракси, посебан значај имају истраживања базирана на експерименталном проучавању и симулационом моделирању. Посебна пажња се поклања групи линеарних вибрационих транспортера са побудним електромагнетним актуаторима. Наведена група вибрационих транспортера има велики значај и примену у области процесне индустрије. Са становишта примене у процесној индустрији посебно је значајна једноставност израде и енергетска ефикасност приликом рада у резонантном режиму.

Кандидат је предложио програм истраживања у наведеној области који је у складу са савременим научним методама истраживања. Истраживања се базирају на

експерименталним истраживањима на расположивој хардверској опреми и на симулационим истраживањима на усвојеном моделу. У оквиру истраживања биће извршена обрада симулационих резултата на усвојеном моделу и експериментална верификација истих на експерименталном погону резонантног вибрационог транспортера са електромагнетном побудом, у циљу развоја и побољшања управљачких структура вибрационог транспорта расутих материјала.

Имајући у виду приказ проблема истраживања, полазне хипотезе и предложене научне методе истраживања, приказани нацрт докторске дисертације садржи све елементе који су потребни да би се у изради докторске дисертације дао научни допринос значајан за даљи развој научних истраживања у области експерименталног и теоријског изучавања понашања електромагнетних вибрационих транспортера.

#### Веза са досадашњим истраживањима

Научно-истраживачка активност кандидата припада области аутоматског управљања, мехатронике и рачунарског инжењерства, а уско је везана за симулационе методе које се базирају на примени програмског пакета MATLAB/Simulink. Такође, кандидат је радио на реализацији техничког решења у циљу стварања потребног лабораторијског окружења за експерименталну верификацију добијених симулационих резултата. Докази за претходне наводе су научни и стручни радови објављени у научним и стручним часописима, као и радови презентовани на међународним конференцијама и националним скуповима. Прва интересовања кандидата била су усмерена на примену мобилне роботике у интердисциплинарној инжењерској едукацији, док се касније кандидат фокусирао на процесну индустрију, а посебно на електромагнетне вибрационе транспортере. Рад у оквиру ове дисертације омогућава кандидату да оствари континуитет у свом истраживачком раду, што поред стручног усавршавања кандидата има за циљ и расветљавање проблематике у поменутој области истраживања.

## **2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке**

#### Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће:

Електромагнетни вибрациони транспортни погони омогућује релативно једноставну контролу протока расутих и ситнозрних материјала који се транспортују. У поређењу са свим врстама механичких вибрационих погона (инерцијални, ексцентарски, центрифугални, итд) електромагнетни погон има једноставнију конструкцију, а у раду је компактнији, робуснији и једноставнији за израду. Одсуство механичких делова као што су зупчаници, ремење, лежајеви, ексцентри и обртни елементи, чини електромагнетне вибрационе транспортере веома енергетски ефикасном и економичном опремом. Еластични елементи су направљени од композитних листастих опруга које подносе велика динамичка напрезања и представљају најкритичније елементе са становишта поузданости и изводљивости.

Са становишта енергетске ефикасности, у индустријској примени резонантни електромагнетни вибрациони транспортери имају велики значај. Избором еластичности композитних листастих опруга, за одређену количину материјала који се транспортује, могуће је подесити механичку резонантну учестаност система. Рад у условима механичке резонантне учестаности је погодан са становишта енергетске ефикасности због минималне потрошње енергије. У овом случају постиже се максимална вредност амплитуде осциловања

за уложу енергију. Ограничење амплитуде осциловања се постиже одговарајућом амплитудском контролом, док се претраживање и одржавање резонантног режима постиже одговарајућом фреквентном контролом. Овај концепт подразумева употребу регулисаних електромагнетних погона базираним на различитим топологијама енергетских претварача код којих је имплементирана амплитудско-фреквентна контрола. Регулисани резонантни електромагнетни транспортери и припадајући енергетски претварач додатно обезбеђују високу енергетску ефикасност која се огледа у минималној вредности побудне струје намотаја вибрационог електромагнетног актуатора, минималној потрошњи електричне енергије и побољшању фактора снаге целокупног електромагнетног погона (енергетски претварач- електромагнетни вибрациони актуатор-транспортер).

Досадашње студије показују да осетљивост вибрационог транспортера на поремећаје у облику нагле промене масе транспортујућег материјала може бити значајно унапређена увођењем повратне спреге са пропорционално-интегралним (ПИ) контролером. У овим системима се најчешће примењују фазно контролисани тиристорски енергетски претварачи који обезбеђују контролу амплитуде без могућности подешавања учестаности. Радна учестаност (учестаност побудне силе вибрационог актуатора) је фиксирана и одређена учестаношћу напојне мреже и најчешће износи 50 Hz. За ову мрежну учестаност могуће је једино постићи неке дискретне вредности учестаности побудне силе електромагнетног вибрационог актуатора (25Hz, 16.66 Hz, 12.5Hz, 10 Hz, 8.33Hz...) одговарајућим начином синхронизације тиристорског претварача. Такође, могуће је остварити и учестаност побудне силе актуатора од 100 Hz одређеним начином синхронизације и употребом енергетских претварача базираних на коришћењу полупроводничких елемената-тријака. Сви ови начини обезбеђују континуално подешавање амплитуде вибрација транспортера и дискретан спектар побудних учестаности. Ово значи да тиристорски претварач неће моћи да оствари праћење резонантне учестаности система, односно да неће моћи бити остварен оптимални режим вибрационог транспорта који се управо базира на раду у резонантном опсегу. Значајно побољшање перформанси вибрационог транспорта, које се огледа у континуалном подешавању амплитуде и(или) учестаности осцилација вибрационог транспортера, се може постићи коришћењем прекидачких топологија енергетских претварача (IGBT, MOSFET) са имплементираном ширинско-импулсном модулацијом. Електромагнетни вибрациони актуатор, који је по природи претежно индуктивно оптерећење, се може врло ефикасно напајати прекидачким енергетским претварачем, који је контролисан ширином побудних импулса. У оквиру енергетског претварача је обезбеђена струјна контрола вибрационог актуатора, док је надређена управљачка структура вибрационог транспорта остварена помоћу ПИ контролера у комбинацији са обсервером стања. Употреба обсервера стања обезбеђује брзу реакцију на поремећаје и праћење референтних вредности у оба смера (повећање и смањење амплитуде).

Главни допринос овог истраживања јесте одређивање утицаја побудне учестаности и средње (или ефективне) вредности струје намотаја електромагнетног вибрационог актуатора (од чега непосредно зависи учестаност и интензитет деловања побудне силе) на проток расутог материјала у макроскопском смислу, као и разматрање могућности примене електромагнетних вибрационих транспортера, као објекта управљања у систему са повратном спрегом. У циљу постизања овог доприноса израђен је детаљан модел вибрационог транспортера са електромагнетном побудом, и припадајућих управљачких структура у MATLAB/Simulink окружењу. Овај модел обухвата дигиталну управљачку јединицу, IGBT енергетски претварач, електромагнетни вибрациони актуатор и процес транспорта расутог материјала у макроскопском смислу, од улазног коша којим се

обезбеђује допремање расутог материјала, до мерне јединице која се налази на излазу вибрационог транспортера. Резултати добијени симулацијом ће бити упоређени са експерименталним резултатима добијеним у реалним лабораторијским условима. Експериментално потврђен и усвојени модел вибрационог транспортера представља добру основу за даља истраживања везана за примену и могућности унапређења електромагнетних вибрационих транспортера. У току експерименталног истраживања, промена сопствене механичке резонантне учестаности вибрационог транспортера ће бити обезбеђена сетом еластичних композитних опруга на које се ослања носећи део транспортера.

За потребе истраживања и имплементацију алгоритама управљања електромагнетног вибрационог транспортера је израђено комплетно експериментално постројење у Центру за примењену аутоматику на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

Основне хипотезе предложене дисертације настале су као резултат детаљног проучавања досадашњег истраживања и најновијих достигнућа и сазнања у области електромагнетних вибрационих транспортера. Математичко описивање електромагнетног вибрационог транспортера и решавање проблема управљачких структура вибрационог транспорта расутих материјала заснованог на електромагнетним актуаторима, захтева увођење следећих претпоставки:

- Гравиметријски проток материјала који се уводи из прихватног улазног коша је константан.
- Проток материјала кроз вибрационо корито транспортера се остварује кроз две фазе: фаза клизања и фаза поскакивања (микро-скокови) честица материјала који се транспортује.
- Евентуалне промене микро-климатских услова у току вршења експеримента немају значајан утицај на добијене резултате.
- Поједностављења која се усвајају приликом моделирања система не смеју бити од значаја за добијене експерименталне резултате.
- Проток материјала на почетку вибрационог корита једнак је протоку материјала на излазу вибрационог корита у току експерименталне евалуације и добијања експерименталних резултата.

Основни циљеви истраживања су:

- дефинисање и унапређење модела електромагнетног вибрационог транспортера и модела процеса транспорта расутог материјала од улазног допремног коша до мерне јединице за одвагу материјала
- израда симулационог модела енергетског претварача, електромагнетног вибрационог актуатора и обезбеђење симулације понашања електромагнетног вибрационог транспортера
- одређивање утицаја побудне учестаности и средње (или ефективне) вредности струје намотаја електромагнетног вибрационог актуатора (од чега непосредно зависи учестаност и интензитет деловања побудне силе) на проток расутог материјала у макроскопском смислу
- разматрање могућности примене електромагнетних вибрационих транспортера, као објекта управљања у систему са повратном спрегом
- обављање експерименталних испитивања на реалном лабораторијском моделу ради верификације симулационих резултата и предложеног модела управљања
- предлог управљачке структуре за контролу протока расутог материјала

Наведени циљеви су у складу са текућим стањем у области на основу којих је кандидат формулисао основне хипотезе и предложио научне методе рада на дисертацији.

### Методе истраживања

У истраживању ће бити примењене симулационе и експерименталне методе. Симулационе методе ће бити базирани на примени софтверског пакета MATLAB/Simulink и симулациона верификација треба да потврди методологију аналитичког пројектовања управљачке структуре, односно, избор и подешавање параметара управљачких структура вибрационог транспорта. Аналитичке методе ће бити коришћене да се спроведе адекватно моделирање вибрационог актуатора, моделирање објекта управљања у ширем смислу и предложи методологија синтезе управљачке структуре. Експериментална истраживања су нужна ради идентификације параметара вибрационог транспорта расутих материјала. Експериментална верификација треба да потврди резултате и симулационе анализе и аналитичких разматрања рада.

Експериментална истраживања биће спроведена на већ реализованом експерименталном лабораторијском постројењу у Центру за примењену аутоматику Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Техничко решење експерименталног постројења представља један од резултата докторске дисертације у изради.

Расположива опрема пружа могућност испитивања квалитета управљања вибрационог транспорта при различитим сопственим резонантним учестаностима система вибрационог транспортера укључујући и електромагнетни актуатор, као и могућност подешавања амплитуде и учестаности осцилација вибрационог транспортера, а сходно томе, и гравиметријског протока.

Преглед досадашњих управљачких структура у системима вибрационог транспорта биће садржан у раду, са разматрањима могућих модификација у корист доприноса енергетској ефикасности система. Биће размотрене могуће примене предиктивних алгоритама и њихове предности у односу на конвенционалне алгоритме управљања. Евентуалан допринос се очекује и са становишта реализације рачунарског управљања на реалном систему управљања који захтева конвексну оптимизацију и минимизацију функционала у реалном времену.

Метода мерења излазног протока расутог материјала се базира на методи мерења средње вредности протока заснованој на мерењу времена потребног за одвагу одређене количине транспортованог материјала. На основу података о количини измереног материјала и о протеклом времену једноставно се израчунава средњи излазни проток.

Метода мерења вибрационог помераја корита транспортера је базирана на бесконтактним индуктивним сензорима. Сензор убрзања, типа "P/N 123-215" RODIX, је причвршћен за носач канала. Сигнал са овог сензора се води у управљачку јединицу, ради праћења амплитуде и учестаности осциловања. Сензор вибрационог помераја носача корита, типа "TURCK Ni10-M18-LiU", базиран на индуковању вртложних струја, је механички причвршћен за носач опруга. Сигнал на излазу овог сензора сразмеран је релативном померају носача корита у односу на носач опруга, односно у односу на постоље вибрационог транспортера.

Средња вредност струје мериће се дигиталним мултиметром "MS8268". Као струјни сензор, за приказ тренутне вредности струје, користи се бесконтактни LEM модул типа

"AC712T" на бази Холових сензора за детекцију магнетног поља мерене струје (струја намотаја вибрационог побуђивача).

### Оквирни садржај докторске дисертације

1. Увод
2. Преглед и анализа постојећих решења, приступа и модела управљања вибрационог транспорта
3. Топологије енергетских претварача у вибрационом транспорту са акцентом на прекидачке претвараче
4. Лабораторијски модел система вибрационог транспорта и идентификација објекта управљања у ширем смислу.
5. Моделирање динамичког система, енергетског претварача и модел објекта управљања у ширем смислу
6. Управљачка структура система вибрационог транспорта и предлог алгоритма управљања
7. Експериментална и симулациона верификација модела вибрационог транспорта и ефикасности предложене управљачке структуре
8. Правци даљег развоја управљачких структура
9. Закључак
10. Литература
11. Додаци и прилози

### **3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема**

На основу свега до сада изреченог Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације "Управљачке структуре вибрационог транспорта расутих материјала базираног на електромагнетним актуаторима" кандидата Петра Мишљена, оригинална идеја која има оригинални научни приступ.

### **4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације**

Кандидат Петар Мишљен ће у својој дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког начина рада поштујући основне критеријуме науке и научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања. Кандидат ће детаљно проверавати полазне хипотезе анализом обимне литературе и извора, у већини случајева новијег датума. С обзиром на то да су циљеви истраживања проистекли из потребе да се оптимизују и усаврше перформансе резонантних електромагнетних вибрационих транспортера и процес регулације протока расутих материјала, као и недоступности резултата експерименталних испитивања одговарајућих управљачких структура, добијени резултати представљали би оригинални допринос

кандидата истраживачкој области. На основу актуелности и практичне применљивости теме, може се закључити да би ова дисертација имала значајан теоријски и практичан допринос у развоју области симулационих модела као и експерименталних истраживања линеарних електромагнетних вибрационих транспортера и припадајућих енергетских претварача.

## **5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата**

Рођен је 25. новембра 1980. године у Задру, Република Хрватска, од оца Јована и мајке Смиље. Основно образовање завршио је 1995. године у основној школи "Ђирило и Методије" у Бенковцу. Школовање је наставио у ЕТЦШ "Никола Тесла" у Београду, и завршио 1999. године. Исте године је уписао основне студије Војнотехничке академије у Београду, која се у току његових студија интегрисала у Војну академију Универзитета одбране у Београду. Основне студије завршио је са просечном оценом 8.05 и одбранио дипломски рад 2004. године на смеру Техничке службе, електро усмерења, специјалности ракетни системи, са оценом 10. Докторске студије је уписао 2011. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и положио све испите са просечном оценом 9.83.

Научно-истраживачка активност кандидата припада области аутоматског управљања, мехатронике и рачунарског инжењерства, а уско је везана за симулационе методе које се базирају на примени програмског пакета MATLAB/Simulink. Такође, кандидат је радио на реализацији техничког решења у циљу стварања потребног лабораторијског окружења за експерименталну верификацију симулационих резултата.

Кандидат је објавио 5 научних и стручних радова у домаћим и међународним часописима, као и међународним скуповима, и реализовао је једно техничко решење.

На основу података датих у оквиру биографије, као и на основу личног познавања кандидата, сматрамо да је кандидат Петар Мишљен у досадашњем раду показао интересовање, самосталност, способност и креативност у научно-истраживачком раду.

### Објављени радови кандидата

#### **Категорија M23**

1. Petar Mišljen, Željko Despotović, Milan Matijević, "Modeling and Control of Bulk Material Flow on the Electromagnetic Vibratory Feeder", *Automatika: Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications*, Vol 57, No 4 (2016), ISSN: 1848-3380, doi: 10.7305/automatika.2017.03.1766.

#### **Категорија M33**

2. Petar Mišljen, Radomir Mitrović, Željko Despotović, Milan Matijević, "SCADA Application for Control and Monitoring of Vibratory Feeder", *International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN)*, ISBN 978-86-80509-71-6, AUI3.6, Jun 2015

#### **Категорија M51**

3. P.Mišljen, Ž.Despotović, M.Matijević "Energetski efikasno upravljanje vibracionim dozatorom: eksperimentalna verifikacija" *ENERGIJA-ekonomija-ekologija*, Vol.3-4, Godina XVII, ISSN 0354-8651, pp. 276-281, Mart 2015.

#### **Категорија М52**

4. Radomir Mitrovic, Petar Misljen, Zeljko Despotovic, Milan Matijevic, "Implementation of control algorithms for resonant vibratory dispenser on SIMATIC S7-1200 from Matlab Simulink environment", Tehnika, 2016, ISSN: 0040-2176, Vol. 71, no. 1, pp. 64-69.

#### **Категорија М63**

5. Н. Бабајић, П. Мишљен, В. Јоковић, М. Васковић, Д. Стевановић, М. Матијевић, "Мобилна роботика у интердисциплинарној инжењерској едукацији", ЕТРАН, Златибор, 2012, 11-14 Јун, RO3.2-1-4 ISBN: 978-86-7892-447-7.

#### **Категорија М83**

6. Петар Мишљен, др Жељко Деспотовић, др Милан Матијевић, "Регулисани погон резонантног електромагнетног вибрационог дозатора", [http://www.mfkg.rs/sajt/Downloads/tehnicka\\_resenja/TR-85-2015.pdf](http://www.mfkg.rs/sajt/Downloads/tehnicka_resenja/TR-85-2015.pdf), ФИН Крагујевац, ТР-85/2015 од 21.05.2015.



На основу свега наведеног у претходним тачкама овог извештаја Комисија доноси следећи

## ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Петар Мишљен, дипломирани инжењер електронике, испунио је све предвиђене услове за израду докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да наведену предложену тему за докторску дисертацију:

### „УПРАВЉАЧКЕ СТРУКТУРЕ ВИБРАЦИОНОГ ТРАНСПОРТА РАСУТИХ МАТЕРИЈАЛА БАЗИРАНОГ НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИМ АКТУАТОРИМА“

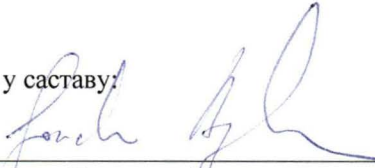
прихвати и одобри њену израду, кандидату Петру Мишљену дипл.инж. електронике.

Комисија такође предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Милан Матијевић, редовни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, а коментор др Жељко Деспотовић, виши научни сарадник Института Михајло Пупин у Београду, и професор на докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Разлог за овај предлог проистиче из чињенице да се предложена тема докторске дисертације и истраживање које је у вези са њом, односи истовремено и на интердисциплинарно и мултидисциплинарно истраживање, које обухвата пројектовање алгоритама управљања, моделирање комплексног електромеханичког система, анализу, синтезу и пројектовање управљачких електронских склопова и склопова енергетске електронике, који се примењују у системима вибрационог транспорта.

У Крагујевцу,


13.07.2017.

КОМИСИЈА у саставу:

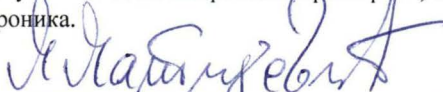
  
др Гордана Богдановић, ванредни професор,  
члан комисије

Факултет инжењерских наука Универзитета у  
Крагујевцу,

Ужа научна област: Примењена механика

  
Др Жељко Деспотовић, дипл.ел.инж., Виши научни  
сарадник Института Михајло Пупин у Београду и  
предавач на докторским студијама Електротехничког  
факултета (Катедра за електричне претвараче и погоне),  
Универзитет у Београду, члан комисије

Уже научне области: Енергетски претварачи, Енергетска  
електроника.

  
др Милан Матијевић, редовни професор,  
председник комисије,

Факултет инжењерских наука Универзитета у  
Крагујевцу,

Уже научне области: Аутоматика и мехатроника,  
Примењена информатика и рачунарско инжењерство