

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

**Предмет:** Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Петра Мишљена, дипломираног инжењера електронике

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу, број IV-04-183/11 од 13.03.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Петра Мишљена, дипломираног инжењера електронике, под насловом:

### **"Управљачке структуре вибрационог транспорта расутих материјала базираног на електромагнетним актуаторима"**

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја комисије за оцену подобности кандидата и теме докторске дисертације, која је одобрена за израду одлуком Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу бр. 01-1/2095-14 од 22.06.2017. године, а на основу става 2. члана 13, става 8. члана 14. и члана 28. Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу (бр. III-01-749/21 од 29.09.2016. године), као и на основу члана 32. Правилника о докторским академским студијама Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу (бр. 01-1/4323 из 2017. године), Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### **1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној области**

Докторска дисертација кандидата Петра Мишљена, дипломираног инжењера електронике, под насловом **"Управљачке структуре вибрационог транспорта расутих материјала базираног на електромагнетним актуаторима"**, представља резултат мулти-дисциплинарног научно-истраживачког рада кандидата у актуелној научној области која се односи на вибрациони транспорт расутих материјала. Са аспекта предмета истраживања и добијених резултата, ова дисертација представља јединствен научни рад.

Кандидат је извршио критичку анализу и систематизацију постојећих знања, искустава и научних резултата компетентних истраживача из области истраживања ове докторске дисертације, који су објављени у водећим међународним часописима. После

подразумеваних консултација и анализе стања у области, посебно; до сада коришћених приступа, метода и модела у области управљања вибрационог транспорта расутих материјала, кандидат је дефинисао предмет и циљ истраживања.

Суштински доприноси ове дисертације су:

- развијени су унапређени модели вибрационог транспорта расутих материјала базираног на примени електромагнетног актуатора, посебно модел кретања расутог материјала на вибрационом кориту,
- одређен је утицај учестаности и средње вредности струје калема вибрационог актуатора на проток расутог материјала у макроскопском смислу,
- дефинисани су параметри који одређују границе енергетске ефикасности вибрационог транспорта расутог материјала,
- предложено је решење за детекцију и издвајање обвојнице сигнала помераја вибрационог корита,
- предложена је предиктивна структура управљања вибрационог транспорта заснована на познавању модела вибрационог транспорта, и
- дато је техничко решење контроле вибрационог транспорта расутих материјала базираног на електромагнетном актуатору и реализовано је лабораторијско постројење.

Резултати симулације су експериментално верификовани на лабораторијском постројењу вибрационог транспорта, чије је и техничко решење настало као резултат рада на изради ове дисертације.

Приказана је методологија пројектовања предиктивног контролера заснованог на познавању модела система.

Резултати добијени применом предиктивног контролера су упоређени са резултатима добијеним применом пропорционално-интегралног контролера.

На основу добијених резултата може се закључити да је предложена методологија користан алат који могу користити процесни инжењери који се баве уградњом и одржавањем управљачких структура у погонима са вибрационим транспортом.

## **2. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одређеној научној области**

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Петра Мишљена, дипломираног инжењера електронике, под насловом "**Управљачке структуре вибрационог транспорта расутих материјала базираног на електромагнетним актуаторима**", представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна и садржајно квалитетна и даје конкретне научне резултате у области контроле вибрационог транспорта расутих материјала. Кандидат је тему обрадио студиозно и

детално, користећи при томе теоријске основе научних дисциплина релевантних за ову проблематику. Критички је анализирао и вредновао бројне научне радове који се односе на проблематику разматрану у оквиру ове дисертације.

Оригиналношћу научног рада, истраживања и резултата остварених у оквиру докторске дисертације се огледају у следећим елементима:

- Развијени су нови модели вибрационог транспорта – који су основа за предиктивно инжењерство, инжењерске симулације, пројектовање закона управљања и оптимизацију процеса.
- Линеаризовани математички модел је верификован кроз резултате симулације и експеримента.
- Развијен је метод детекције обвојнице сигнала помераја вибрационог корита.
- Извршена је синтеза и имплементација софтвера за управљање и надзор система вибрационог транспорта на микроконтролеру новије генерације.
- Сва експериментална истраживања и верификације теоријских разматрања путем експерименталних и симулационих резултата су извршена на лабораторијском постројењу које је настало као резултат рада на овој дисертацији.

### **3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одговарајућој научној области**

Петар Мишљен рођен је 25.11.1980. године у Задру, Република Хрватска, СФРЈ. Основну школу "Ђурило и Методије" завршио је са одличним успехом. Средњу електротехничку школу "Никола Тесла", смер радио и видео техника, завршио је у Београду школске 1998/1999 године са одличним успехом.

Војнотехничку академију у Београду уписао је 1999 године. Дипломирао је 02.09.2004. године, на смеру техничке службе – специјалност ракетни системи, са оценом 10 (десет) на дипломском раду и средњом оценом 8,05 (осам и 05/100) у току студија.

После дипломирања је уписао докторске студије школске 2011/2012 године на Машинском факултету у Крагујевцу, студијски програм "Машинско инжењерство", научна област "Аутоматика и мехатроника". Положио је све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 9,83.

У овом периоду, кандидат учествује у реализацији 3 научно-истраживачка пројекта Министарства одбране Републике Србије:

1. Истраживање могућности превођења програмираних ракетних мета и невођених ракета у вођене ракете ваздух-земља.
2. Ракета 128mm – Пренос производње са развојем ракете побољшаних карактеристика.
3. Усавршавање ЛРСВ 128mm М77 "Огањ".

Израда докторске дисертације под називом "Управљачке структуре вибрационог транспорта расутих материјала базираног на електромагнетним актуаторима" кандидату је одобрена 22.06.2017. године.

Као први аутор или коаутор објавио је 7 научних радова (2 рада у међународним часописима, 1 саопштење са међународног скупа штампано у целини, 1 рад у водећем часопису националног значаја, 2 рада у часописима националног значаја, 1 саопштење са скупа националног значаја штампано у целини), учествовао је у комплетној реализацији једног техничког решења.

#### Рад у међународном часопису [резултат М<sub>23</sub>]:

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
2. **Petar Mišljen**, Marko Tanaskovic, Zeljko Despotovic, Milan Matijevic, *Controlling Electromagnetic Vibrating Feeder by Using a Model Predictive Control Algorithm*, *Interciencia Journal*, Vol 43, No 10, (2018), ISSN: 0378-1844.

#### Саопштење са међународног скупа штампано у целини [резултат М<sub>33</sub>]:

3. **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

#### Рад у водећем часопису националног значаја [резултат М<sub>51</sub>]:

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

#### Рад у часопису националног значаја [резултат М<sub>52</sub>]:

5. Radomir Mitrovic, **Petar Mišljen**, 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.
6. **Petar Mišljen**, Miloš Pavić, *Realization of the Missile Servo System Based on the Application of Microcontroller and Contactless Rotary Position Sensor of the Missile Wings*, *Scientific Technical Review*, Vol. 68, No. 3, 2018, ISSN: 1820-0206, 7-12.

#### Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини [резултат М<sub>63</sub>]:

7. 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.

#### Техничко решење лабораторијског постројења [резултат М<sub>83</sub>]:

8. **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), Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, ТР-85/2015 од 21.05.2015.

#### 4. Оцена испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата Петра Мишљена, дипломираног инжењера електронике под насловом "**Управљачке структуре вибрационог транспорта расутих материјала базираног на електромагнетним актуаторима**", усклађена је по обиму и садржају одобреној теми од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу.

Резултати истраживања у писаном делу докторске дисертације су изложени на укупно 153 стране. Дисертација садржи 68 графичких илустрација, 1 табелу, 86 библиографских јединица. Излагање је сврстано у 9 поглавља, којима претходе списак скраћеница и ознака, резиме рада на српском и енглеском језику и садржај. Наслови поглавља су:

1. Предмет и циљ рада
2. Преглед и анализа постојећих решења, приступа и модела управљања вибрационог транспорта
3. Лабораторијски модел система вибрационог транспорта и идентификација објекта управљања у ширем смислу
4. Моделирање динамичког система и модел објекта управљања у ширем смислу
5. Управљачка структура система вибрационог транспорта и предлог алгорита управљања
6. Експериментална и симулациона верификација модела вибрационог транспорта и ефикасности предложене управљачке структуре
7. Закључак
8. Литература
9. Додаци и прилози

У првом поглављу су дефинисани предмет и циљ рада, и дат је преглед релевантне литературе и стање у области.

У другом поглављу је дат преглед и анализа неких постојећих решења, приступа и модела управљања вибрационог транспорта.

У трећем поглављу је описан лабораторијски модел система вибрационог транспорта. Ово поглавље представља један вид корисничког упутства за примену лабораторијског модела вибрационог транспорта, односно, пројектованог лабораторијског постројења (тј. реализованог погона вибрационог транспорта базираног на електромагнетном актуатору).

У четвртном поглављу је извршено моделирање динамичког система и предложен је модел управљања у ширем смислу. Полазна основа за моделовање је модел линеаризованог вибрационог транспортера заснован на кинетичким и потенцијалним енергијама, особинама механичког система и Лагранжеовим једначинама. На основу познатог облика побудне струје, иста је представљена као парна периодична функција која се може развити у Фуријеов ред. За моделирање издвајања и детекције обвојнице сигнала

помераја корита коришћена је Хилбертова трансформација у комбинацији са Батервортовим филтром. Оригиналан допринос кандидата је предложен модел кретања материјала на вибрационом кориту. Нелинеарни модел система, у континуалном облику, израђен је применом софтверског пакета МАТЛАБ/Симулинк.

У петом поглављу је предложен алгоритам управљања који се заснива на предикцији стања система представљеног помоћу модела стања. Приказан је поступак идентификације, линеаризације и дискретизације посматраног нелинеарног система. Извршено је подешавање параметара ПИД контролера и детаљно је описан поступак имплементације предиктивног контролера на микроконтролеру STM32F407VGT6.

У шестом поглављу је приказана експериментална и симулациона верификација модела вибрационог транспорта и ефикасности предложене управљачке структуре. Прво су приказани симулациони резултати у облику преносних карактеристика. Приказане су преносне карактеристике транспортера и преносне карактеристике протока материјала за разне вредности резонантне учестаности транспортера. Помераји корита и облик струје калема актуатора су приказани на одговарајућим временским дијаграмима. Извршена је симулација управљачке структуре базиране на примени предиктивног контролера. За све дијаграме добијене симулацијом приказани су одговарајући дијаграми добијени експериментално. Између осталог, извршено је поређење ПИД и предиктивне управљачке структуре за различите вредности периоде одабирања. Снимљене су амплитудна и фазна карактеристика транспортера и одређени су пропусни опсези за посматране управљачке структуре. Извршена је експериментална анализа утицаја поремећаја у облику нагле промене масе материјала вибрационог корита на амплитуду осциловања вибрационог канала.

Седмо поглавље садржи изведена закључна разматрања научног истраживања спроведеног у дисертацији. Такође, дефинисани су могући правци даљих истраживања.

У осмом поглављу је дат преглед библиографских јединица које су коришћене као основа за истраживање.

Девето поглавље се састоји од прилога на које се кандидат позива у тексту дисертације.

## **5. Научни резултати докторске дисертације**

Кандидат Петар Мишљен, дипломирани инжењер електронике, је у оквиру дисертације извршио систематизацију постојећих знања и искустава у области вибрационог транспорта расутих материјала базираног на електромагнетним актуаторима. У оквиру рада на дисертацији кандидат је дошао до резултата и закључака који имају своје место и значај, како у научно-теоријском, тако и у практичном смислу.

Најважнији научни резултати ове дисертације су:

- Експериментално је верификован предложени модел вибрационог транспорта расутих материјала.

- Извршена је идентификација, линеаризација и дискретизација усвојеног нелинеарног модела вибрационог транспорта расутих материјала базираног на електромагнетним актуаторима.
- Дефинисана је критична вредност брзине кретања расутог материјала дуж вибрационог корита као гранична вредност<sup>1</sup> за 'одређивање енергетске ефикасности вибрационог транспортера.
- Извршена је имплементација МПЦ контролера и анализирани су његове предности и мане у односу на ПИД контролер у случају примене за контролу амплитуде осцилована вибрационог корита.

## 6. Примењивост и корисност резултата у теорији и пракси

Резултати докторске дисертације кандидата Петра Мишљена, дипломираног инжењера електронике, под насловом "**Управљачке структуре вибрационог транспорта расутих материјала базираног на електромагнетним актуаторима**", применљиви су и корисни, како у теоријском, тако и у практичном смислу.

Предложени модел вибрационог транспорта расутих материјала представља добру основу за даља теоријска и практична разматрања контроле вибрационог транспорта расутих материјала. Пројектовање МПЦ контролера, описано у овој дисертацији, представља добру теоријску основу за примену ове управљачке структуре у процесној техници.

## 7. Начин презентирања резултата научној јавности

Део научних резултата који су произашли у оквиру разматране тематике ове докторске дисертације је презентован објављивањем научних радова у међународним научним часописима, као и на међународним и националним научним скуповима. Такође, реализовано је техничко решење у лабораторијским условима, а део овог техничког решења је презентован у већ публикованим научним радовима.

Резултати рада на дисертацији су публиковани у следећим радовима:

### Рад у међународном часопису [резултат М<sub>23</sub>]:

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
2. **Petar Mišljen**, Marko Tanaskovic, Željko Despotovic, Milan Matijevic, *Controlling Electromagnetic Vibrating Feeder by Using a Model Predictive Control Algorithm*, *Interciencia Journal*, Vol 43, No 10, (2018), ISSN: 0378-1844.

### Саопштење са међународног скупа штампано у целини [резултат М<sub>33</sub>]:

3. **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

**Рад у водећем часопису националног значаја [резултат M<sub>51</sub>]:**

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

**Рад у часопису националног значаја [резултат M<sub>52</sub>]:**

5. 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.

На основу свега изложеног комисија доноси следећи:

## **ЗАКЉУЧАК**

Докторска дисертација кандидата Петра Мишљена, дипломираног инжењера електронике, у потпуности, како по обиму тако и по квалитету, одговара теми дисертације одобреној одлуком бр. 01-1/2095-14 од 22.06.2017. године од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

У контексту израде докторске дисертације, кандидат Петар Мишљен је као први аутор или коаутор објавио **5** научних радова (2 рада у међународним часописима, 1 саопштење са међународног скупа штампано у целини, 1 рад у водећем часопису националног значаја, 1 рад у часопису националног значаја), и учествовао је у комплетној реализацији једног техничког решења.

Кандидат је у приказу истраживања користио уобичајену и стандардизовану стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама.

У току израде докторске дисертације, кандидат Петар Мишљен је дошао до оригиналних научних истраживања, приказаних у дисертацији. Комисија такође сматра да је кандидат кроз дисертацију показао завидан ниво стручног и теоријског знања које ће му омогућити успешан будући самостални научно-истраживачки рад.




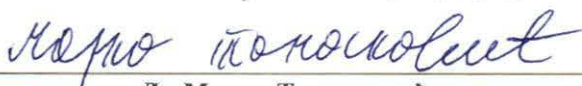
На основу свега изнетог, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Петра Мишљена, дипломираног инжењера електронике**, једногласно је закључила да докторска дисертација под насловом:


**"Управљачке структуре вибрационог транспорта расутих материјала базираног на електромагнетним актуаторима"**

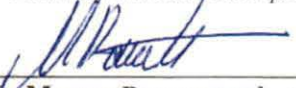
по квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности испуњава све научне, стручне и законске критеријуме за израду докторске дисертације. Стога Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, да овај Извештај у потпуности прихвати и закаже јавну усмену одбрану наведене дисертације.

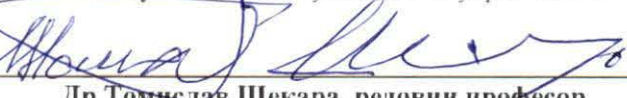
Чланови комисије:

  
**Др Михаило Лазаревић, редовни професор, председник Комисије,**  
Машински факултет, Универзитет у Београду.  
Ужа научна област: *Механика.*

  
**Др Марко Танасковић, доцент,**  
Технички факултет, Универзитет Сингидум у Београду.  
Ужа научна област: *Рачунарска техника.*

  
**Др Гордана Богдановић, ванредни професор,**  
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.  
Ужа научна област: *Примењена механика.*

  
**Др Милан Ристановић, ванредни професор,**  
Машински факултет, Универзитет у Београду.  
Ужа научна област: *Аутоматско управљање.*

  
**Др Томислав Шекара, редовни професор,**  
Електротехнички факултет, Универзитет у Београду.  
Ужа научна област: *Аутоматика.*

У Крагујевцу и Београду,  
06.05.2019. године