

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

Факултет инжењерских наука

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА  
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

Бр. 01114941

25. 12. 20<sup>20</sup> год.

КРАГУЈЕВАЦ

### НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Арса Вукићевића

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-810/10 од 10.11.2020. године, на предлог Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу (одлука бр. 01-1/3771-15 од 22.10.2020. године), именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Арса Вукићевића, под насловом:

#### **„УНАПРЕЂЕЊЕ ПЕРФОРМАНСИ ПРОЦЕСА У LEAN ИНДУСТРИЈСКИМ СИСТЕМИМА ПРИМЕНОМ ТЕХНОЛОШКИХ ПИЛАРА ИНДУСТРИЈЕ 4.0“**

На основу увида у приложу докторску дисертацију и Извештаја комисије за оцену подобности кандидата и теме докторске дисертације, која је одобрена за израду Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу број 01-1/1019-9 од 21.03.2019. године и Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-275/10 од 10.04.2019. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу следећи:

### ИЗВЕШТАЈ

#### **1. Опис докторске дисертације**

Докторска дисертација кандидата Арса Вукићевића, под називом: „Унапређење перформанси процеса у LEAN индустријским системима применом технолошких пилаара Индустрије 4.0“, представља резултат мултидисциплинарног научноистраживачког рада у актуелној научној области која се односи на истраживање могућности примене актуелних технолошких трендова у производној индустрији. Термин Индустрија 4.0 (И4.0) означава трансформацију глобалне привреде под утицајем технолошких достигнућа XXI века. У оквиру ове дисертације анализирани су могућности примене технолошких пилаара И4.0 за решавање репрезентативних проблема (модел зона) у LEAN индустријским системима. У првој студији предложен је оквир за управљање небезбедним условима и небезбедним поступцима применом мобилних и интернет технологија. Такође, извршена је анализа захтева и предложено је решење прилагођено за мала и средња предузећа. У другој студији случаја предложено је решење за унапређење димензионе контроле екструдованих гумених профила.

Решење је базирано на употреби дигиталне камере и алгоритма компјутерске геометрије и обраде слика – чиме је постигнуто је побољшање перформанси оператера од ~6%. У трећој студији случаја предложен је систем за попис материјала који се транспортују на палетама у штампарској индустрији. Дигитализовани попис показао се као неупоредиво бржи и поузданији од тренутног-ручног пописа складишта. У четвртој студији случаја предложено је решење за анализу неергономског транспорта терета ручним колицима. Употребом IoT модула детектују се повећане вредности силе којом радник делује, што омогућава анализу одговарајућих броја слика у секунди снимљених интернет камером. Идентификацијом критичних момената, у којима алгоритми дубоког учења омогућавају тродимензионални приказ положаја тела оператера, омогућена је прецизнија анализа ергономских ризика. Валидација предложених алгоритма и решења указује на велики потенцијал за њихову ширу практичну примену. Закључено је да постоји велики број специфичних проблема у индустрији који захтевају наменска решења – што отвара велике могућности за даља истраживања и развој дигитализованих решења базираних на пилаарима И4.0.

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

Фокус дисертације је на развоју метода и алата за унапређење разматраних индустријских процеса употребом главних покретача И4.0 – а то су дигитализација, вештачка интелигенција (енгл. Artificial Intelligence – AI) и интернет ствари (енгл. Internet of things – IoT). Из тог разлога, може се закључити да се дисертација бави тренутно најактуелнијим областима индустријског инжењерства – док остварени резултати представљају релевантан допринос датој научној области.

У делу који се односи на пилаар безбедности на раду предложен је нови оквир за управљање информацијама које се односе на континуирани процес идентификације и извештавања о утврђеним небезбедним условима (НУ) и небезбедним поступцима (НП) у реалном времену. Значај и специфичност предложеног решења се огледа у томе што је генеричка платформа првенствено намењена и прилагођена малим и средњим предузећима. У другом делу истраживања из области безбедности и ергономије радног места постигнути научни допринос се огледа у развоју експертског система за унапређење процене ризика и превенцију повреда при мануелним пословима узимајући у обзир њихове реалне идентификоване и измерене карактеристике и интеракцију радника са радним местом и радним активностима, као и препознавање неправилних активности на основу анализе положаја тела запосленог.

У делу дисертације који се односи на пилаар Контрола квалитета производа, остварени допринос се односи на омогућавање дигитализоване површинске димензионе контроле производа од еластомерних материјала сложене геометрије применом метода машинске визије. Овај специфични случај контроле квалитета представља веома комплексан задатак и до сада је био недовољно истражен у научној литератури. Добијени резултати, и развијени експертски систем, се свакако могу применити на најшири спектар других, много чешћих случајева димензионе контроле крутих, недеформабилних предмета са релативно једноставнијом геометријом.

У оквиру трећег дела истраживања које се односе на пилаар Логистике, и праћење токова материјала и производа, резултирала су једноставним и приступачним техничким решењем за идентификацију и препознавање јединичних палетизованих паковања у комбинацији са информационим системом који у реалном времену омогућава праћење тока материјала кроз производни процес. Верификација концепта



извршена је у реалним условима, при чему је предложени је експертски систем имплементиран употребом облак технологија и на широко доступних IP камера.

Због свега наведеног, Комисија сматра да резултати и закључци ове дисертације отварају простор за даља истраживања која могу допринети већој и значајнијој практичној примени главних покретача И4.0 у унапређењу пословања и повећању капацитета производних процеса – што је и потврђено низом истраживачких пројеката везаних за поглавља дисертације, а која су финансирана из научних иновационих фондова Републике Србије.

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

На основу детаљног прегледа и анализе научних радова из области докторске дисертације Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Арса Вукићевића представља резултат оригиналног научног рада. Кандидат је тему обрадио темељно и детаљно, користећи при томе теоријске основе и литературне изворе научних дисциплина релевантних за ову проблематику. Оригиналноост научног рада и истраживања остварених у оквиру докторске дисертације огледају се у следећем:

- Предложен је нови оквир за управљање извештајима о небезбедним условима и поступцима, и изложен је случај употребе решења прилагођеног за потребе малих и средњих предузећа. Решење је базирано на употреби мобилних и интернет технологија.
- Употребом техника машинске визије, предложено је ново решење за димензиону контролу профила екструдованих гумених профила, које омогућава дигитализацију процеса и управљања извештајима контроле квалитета.
- Предложено је решење за дигитализацију пописа палетаризованог материјала у складиштима производних система у штампарској индустрији, применом QR кодова и техника машинске визије. Решење представља пример тзв. јефтине аутоматизације, где је показано да се применом широко доступних технологија могу значајно унапредити поједини индустријски процеси.
- Предложен је нови експертски систем који омогућава препознавање небезбедних поступака код радних места која укључују задатке ручне манипулације теретом (специфично активности вучења и гурања индустријских колица). За те потребе, коришћени су сензори силе и енгл. IP камере – односно алгоритмима компјутерске визије који реконструишу положај тела човека на основу монокуларних слика.

### **4. Преглед остварених резултата кандидата у одређеној научној области**

#### **4.1 Биографија кандидата**

Арсо М. Вукићевић, рођен 16.06.1987. године у Никшићу, Република Црна Гора, СФРЈ, од оца Миладина и мајке Велимирке, завршио је Основну школу „Милоје Симовић“ у Крагујевцу; потом је средњешколско образовање стекао у „Првој техничкој школи“ на смеру „Електротехничар рачунара“, такође у Крагујевцу, као одличан ђак.

Основне академске студије на Машинском факултету у Крагујевцу уписао је школске 2006/2007. године, а дана 20. 10. 2009. завршио студије као студент генерације на поменутом факултету са општим успехом 9,43 (девет 43/100). Мастер студије на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу уписао је школске 2009/2010. године, а



дана 04. 07. 2011. завршио студије као студент генерације на поменутом факултету са општим успехом 9,94 (девет 94/100).

Током студија, био је стипендиста Министарства просвете и науке Републике Србије. Био је добитник стипендије Универзитета у Крагујевцу, која се додељује најбољим студентима Универзитета. Такође, био је један од добитника награде за допринос и афирмацију и промоцију имена Факултета у земљи и свету на прослави педесет година факултета 2010. године, након победе у финалу такмичења Microsoft Imagine Cup 2009 за Србију и представљања Србије у Каиру где је освојио друго место, на највећем светском студентском такмичењу у информационам технологијама.

Докторске академске студије уписао је школске 2011/12. године на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, на смеру за примењену информатику и рачунарско инжењерство - а завршио 2016, за шта је добио награду за најбољи докторат од стране Српског друштва за рачунску механику (engl. Serbian Society for Computational Mechanics).

Професионалну каријеру је започео 2011. године на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Током докторских студија, активно учествује или је учествовао у извођењу вежби из предмета: Механика 1 – Статика, Механика 3 – Динамика, Рачунарски алати, Алгоритми и структуре података, Софтверски инжењеринг, Управљање софтверским пројектима. У периоду 2016-2020 радио је као доцент на Факултету информационам технологија у Београду.

#### 4.2 Референце кандидата

Као аутор или коаутор објавио је укупно 20 радова у научним часописима на SCI листи (ажуриран списак свих публикација доступан је на Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=vlrZK18AAAAAJ>). У наставку су наведени научни радови који представљају резултат рада на пријављеној дисертацији од којих су два рада објављени на SCI листи на којима је први аутор чиме је кандидат испунио услов за одбрану докторске дисертације:

#### Рад у врхунском међународном часопису [M21]

1. **Arso M Vukicevic\***, Marko Djapan, Miladin Stefanovic, Ivan Macuzic. Safe-Tag mobile: A novel javascript framework for real-time management of unsafe conditions and unsafe acts in SMEs. Safety Science, ISSN: 0925-7535, 2019, vol. 120, pp. 507-516. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.024>.
2. **Arso M Vukicevic\***, Marko Djapan, Petar Todorovic, Milan Eric, Miladin Stefanovic, Ivan Macuzic. Decision support system for dimensional inspection of extruded rubber profiles. IEEE Access, Vol. 7, pp. 112605-112616, ISSN: 2169-3536, DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2934561>.

#### Саопштење са међународног скупа штампано у целини [M33]

1. Marko Đapan, **Arso Vukicevic**, Ivan Macuzic, Petar Todorovic, Nastasija Mijovic, Marija Savkovic. Safety 4.0: Modern talking or necessity. 13th International quality conference - Quality festival, Proceedings on Engineering Science, Kragujevac, 2019, 29 May - 1 June, pp. 349-354, ISBN 2620-2832.
2. Nastasija Mijovic, Petar Todorović, Ivan Mačužić, Marko Đapan, **Arso Vukićević**, Marija Savković. Liquidity as performance indicator - The impact of market change and

managerial decisions 13th International quality conference - Quality festival, Proceedings on Engineering Science, Kragujevac, 2019, 29 May - 1 June, pp. 997-1004, ISBN 2620-2832.

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

Докторска дисертација кандидата Арса Вукићевића под насловом „Унапређење перформанси процеса у LEAN индустријским системима применом технолошких пиlara Индустирије 4.0“, по обиму и садржају одговара прихваћеној теми од стране Наставно-научног Већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу. По квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за израду докторских дисертација. Наслов докторске дисертације, урађена истраживања, као и циљеви проучавања су у складу са онима који су наведени у пријави теме.

Дисертација је написана на 122 странице, садржи 78 графичких приказа, 4 табеле и 119 референце. Дисертација је изложена у 8 поглавља, којима претходе предговор, резиме рада на српском и енглеском језику, списак слика и табела, преглед значајнијих ознака и скраћеница и садржај рада. Наслови поглавља су:

1. Уводна разматрања и преглед садржаја дисертације
  2. Индустирија 4.0
  3. Управљање извештајима о небезбедним условима и небезбедним поступцима
  4. Димензиона контрола екструдованих гумених профила
  5. Управљање палетама применом машинске визије, QR кодова и веб камера
  6. Препознавање небезбедних поступака код радних места која укључују задатке гурања и повлачења терета
  7. Закључна разматрања и смернице за будућа истраживања
- Литература

У првом поглављу дата су уводна разматрања и преглед садржаја дисертације, изложени су предмет и научни циљ рада и дат је кратак преглед садржаја дисертације.

У другом поглављу „Индустирија 4.0“, представљена је шира слика везана за И4.0 – почевши са кратким прегледом претходне три индустријске револуције. Укратко је представљено девет пиlara И4.0, са акцентом на оне пиlare који ће у овој дисертацији бити разматрани као алати за унапређење Lean индустријских система.

У трећем поглављу „Управљање извештајима о небезбедним условима и небезбедним поступцима“ су представљени резултати рада на првој студији случаја. Секција почиње уводним разматрањима о безбедности и здрављу на раду (БЗР), и илустрацијом значајности управљања небезбедним условима и небезбедним поступцима у циљу смањења броја повреда. Након прегледа литературе и актуелних комерцијалних решења, изложено је предложено решење – почевши од дефиниције захтева корисника (мала и средња предузећа), преко дискусије актуелних технологија и архитектуре решења, до детаља везаних за имплементацију. На крају, дата је илустрација и дискусија случаја употребе под називом енгл. „Safe-Tag“.



У четвртом поглављу „Димензиона контрола екструдованих гумених профила“ су представљени резултати рада на другој студији случаја. Поглавље почиње елаборацијом значаја дигитализације датог процеса, и наставља се представљањем тренутних потреба и могућности дигитализације датог проблема. Након прегледа литературе и актуелних комерцијалних решења, представљено је решење развијено у оквиру ове дисертације. У наставку је дат детаљан опис свих корака алгорита, и након тога, анализа добијених резултата – тј. перформанси решења. На крају секције, прецизирани су допринос и правци за даљи развој процедура за димензиону контролу екструдованих гумених профила.

У петом поглављу „Управљање палетама применом машинске визије, QR кодова и IP камера“ су представљени резултати рада на трећој студији случаја. Полазећи од описа индустријске праксе у управљању палетама, дефинисани су захтеви и идентификовани недостаци тренутне праксе и дат је преглед тренутних решења. У наставку поглавља, предложен је приступачан и интуитиван систем за управљање материјалима који се заснива на концептима Индустрије 4.0 (машинске визије и рачунарства у облаку). Конкретно, потребно је истражити потенцијал примене и развити функционално решење базирано на употреби техника машинске визије, које ће служити као подршка запосленима.

У шестом поглављу „Препознавање небезбедних поступака код радних места која укључују задатке гурања и повлачења“ су представљени резултати рада на четвртој студији случаја. Поглавље почиње излагањем основа ергономије гурања и повлачења терета, и наставља се прегледом литературе фокусиране на детекцију и превенцију неергономских поступака. У наставку, предложен је експертски систем базиран на употреби сензора силе и енгл. IP камере – односно алгоритмима компјутерске визије који реконструишу положај тела човека на основу монокуларних слика.

У седмом поглављу су дата закључна разматрања као и смернице за будућа истраживања почевши од резултата изложених у овој дисертацији.

У осмом поглављу је дата листа референци коришћених током израде дисертације, као и кратка биографија аутора са припадајућим изјавама о ауторству.

## 6. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Арсо Вукићевић је у оквиру дисертације извршио систематску анализу постојећих знања и искустава из обухваћених научних области – на основу којих је у оквиру рада на дисертацији извео низ истраживања и дошао до резултата и закључака који представљају допринос, како у научно-теоријском, тако и у практичном смислу. Резултати до којих се дошло радом на овој дисертацији су публиковани у два водећа међународна часописа (поглавља три и четири), док су резултати у поглављима пет и шест тренутно у процесу рецензије у међународним часописима. Конкретно, научни резултати ове дисертације су остварени кроз :

- Потврђивање прве хипотезе, да се колекција, чување и обрада извештаја о небезбедним условима и небезбедним поступцима се може унапредити дигитализацијом. Предложени оквир за управљање извештајима о небезбедним условима и поступцима објављен је у међународном часопису категорије M21, Arso M Vukicevic, Marko Djapan, Miladin Stefanovic, Ivan Macuzic. SafE-Tag mobile: A novel javascript framework for real-time management of unsafe conditions and unsafe acts in SMEs. Safety Science, ISSN: 0925-7535, 2019, vol. 120, pp. 507-516. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.024>.



- Потврђивање друге хипотезе, да се употребом техника вештачке интелигенције и машинске визије могу се препознати небезбедни поступци запослених чији радни задаци укључују транспорт материјала ручним колицима. Предложено решење базирано на употреби техника машинске визије и сензора силе је тренутно у процесу рецензије у међународном часопису. У току 2020. године, Фонд за науку је одобрио средства од приближно 200.000 евра за даља истраживања у овом правцу – што представља потврду вредности и значаја изложених идеја и резултата дисертације.
- Потврђивање треће хипотезе, да се инспекција екструдованих гумених профила може дигитализовати и унапредити дигитализацијом. Предложено решење за димензиону контролу профила екструдованих гумених профила објављено је у међународном часопису категорије M21 Arso M Vukicevic, Marko Djapan, Petar Todorovic, Milan Eric, Miladin Stefanovic, Ivan Macuzic. Decision support system for dimensional inspection of extruded rubber profiles. IEEE Access, Vol. 7, pp. 112605-112616, ISSN: 2169-3536, DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2934561>.
- Потврђивање четврте хипотезе, да се праћење токова материјала у складишту се може унапредити техникама машинске визије и интернет ствари. У питању је пример тзв. јефтине аутоматизације, где је показано да се применом широко доступних технологија могу значајно унапредити поједини индустријски процеси. Резултати рада на овој хипотези су у процесу рецензије у међународном часопису и верификовани су кроз успешно реализован пројекат финансиран од стране Иновационог фонда Реп. Србије.

## 7. Примењивост резултата у теорији и пракси

Реализоване модел зоне са примерима апликације пиlara И4.0 на решавању практичних проблема представљаће платформу за редефинисање приступа и конципирање реално применљивог приступа и методологије за ширу имплементацију И4.0 и то како у Lean индустријским системима, тако и у широком спектру других производних система укључујући и посебно интересантан сегмент малих и средњих предузећа. У научном смислу, сва четири поглавља резултирала су научним радовима у међународним часописима, који су прихваћени за објављивање или су тренутно у процесу рецензије. Поред тога, идеје и научни рад изложени у докторској дисертацији је, у току рада дисертације, подржани су значајним средствима од стране низа релевантних научних и иновационих фондова у Србији и иностранству. Предложена решења су развијена на основу потреба у индустријској пракси, у том смислу, валидација извршена у реалним условима указује на њихову примењивост у пракси.

## 8. Начин презентовања резултата научној јавности

Четири поглавља дисертације су резултира научним радовима у међународним часописима. Конкретно, два рада су прихваћена за објављивање у часописима категорије M21: Arso M Vukicevic, Marko Djapan, Petar Todorovic, Milan Eric, Miladin Stefanovic, Ivan Macuzic. Decision support system for dimensional inspection of extruded rubber profiles. IEEE Access, Vol. 7, pp. 112605-112616, ISSN: 2169-3536, DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2934561>; односно, Arso M Vukicevic, Marko Djapan, Miladin Stefanovic, Ivan Macuzic. Safe-Tag mobile: A novel javascript framework for real-time management of unsafe conditions and unsafe acts in SMEs. Safety Science, ISSN: 0925-7535, 2019, vol. 120, pp. 507-516. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.024>. Такође,

два рада су тренутно у процесу рецензије – и односе се на резултате изложене у петом и шестом поглављу дисертације.

Комисија сматра да истраживања и необјављени резултати ове докторске дисертације представљају обиман и користан материјал за даљу публикацију радова у међународним и националним часописима и скуповима у области индустријског инжењерства и примењеним информационим технологијама.

## **ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ**

Докторска дисертација кандидата Арса Вукићевића, у потпуности, како по обиму, тако и по квалитету, одговара одобреној теми дисертације, Одлуком бр. 01-1/1019-9 од 21.03.2019. године од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-275/10 од 10.04.2019. године.

Кандидат је у приказу истраживања користио одговарајућу и стандардизовану стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са свим универзитетским нормама. Докторска дисертација по садржају, квалитету, обиму и приказаним резултатима истраживања у потпуности задовољава законске услове и универзитетске норме прописане за израду докторске дисертације.

Кандидат је показао да влада методологијом научноистраживачког рада и да поседује способност систематског приступа и коришћења литературе. При томе је, користећи своје професионално образовање, показао способност да приступи свеобухватно сложеној проблематици, у циљу дефинисања суштинских закључака и добијању конкретних и применљивих резултата.

С обзиром на актуелност проблематике која је обрађена и остварене резултате, чланови Комисије сматрају да кандидат, и поднета докторска дисертација, испуњавају све услове, који се у поступку оцене писменог дела докторске дисертације захтевају Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Крагујевцу и Статутом Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.



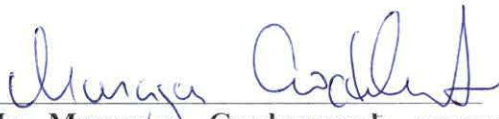
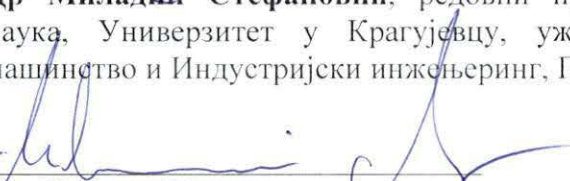

На основу свега наведеног, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Арса Вукићевића предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да докторску дисертацију кандидата под називом:

**„УНАПРЕЂЕЊЕ ПЕРФОРМАНСИ ПРОЦЕСА У LEAN ИНДУСТРИЈСКИМ СИСТЕМИМА ПРИМЕНОМ ТЕХНОЛОШКИХ ПИЛАРА ИНДУСТРИЈЕ 4.0“**

прихвате као успешно урађену и да кандидата позову на усмену јавну одбрану докторске дисертације.

У Београду и Крагујевцу,

**ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ**

1.   
Др Миладин Стефановић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, ужа научне области: Производно машинство и Индустијски инжењеринг, Председник Комисије,
2.   
Др Милош Миловановић, ванредни професор, Факултет организационих наука Универзитета у Београду, ужа научна област: Информационе технологије, Члан Комисије.
3.   
Др Марко Бапан, доцент, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, ужа научна област: Индустијско инжењерство и инжењерски менаџмент, Члан комисије.