

НАУЧНО-НАСТАВНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА
У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Научно-наставног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној **21. 03. 2019.** (број одлуке: **01-1/1019-9**) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној **12. 04. 2019.** (број одлуке: **IV-04-275/10**) којом смо одређени као чланови Комисије за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације:

„Унапређење перформанси процеса у LEAN индустријским системима применом технолошких пиlara Индустије 4.0“

у научној области Индустијско инжењерство и инжењерски менаџмент, кандидата Арса М. Вукићевића. На основу података, којима располажемо, достављамо следећи

ИЗВЕШТАЈ

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

У предложеном нацрту докторске дисертације, кандидат је образложио предмет истраживања, наводећи актуелност и значај истраживања у области примене технолошких пиlara Индустије 4.0 у циљу унапређења перформанси процеса у LEAN индустријским системима. Наиме, иако не постоји стриктна дефиниција појма Индустија 4.0 (И4.0), термин И4.0 се у ширем смислу односи на усавршавање и трансформацију глобалне индустрије под утицајем текућих технолошких достигнућа. У последњих пет година, главне покретачке снаге И4.0 су дигитализација, вештачка интелигенција (енгл. Artificial Intelligence – AI) и интернет ствари (енгл. Internet of things – IoT) - које уређаје и процесе у производним системима чине све више аутоматизованим, паметним и повезаним-умреженим.

Тренутни ниво научно технолошког развоја концепта И4.0 препознаје укупно 11 технолошких пиlara (стубова) И4.0 који чине полуге глобалног индустријског напретка и промене начина на који се приступа решавању виталних проблема савремене индустрије и унапређењу индустријских процеса. Поред чињенице да је највећи напредак направљен у области аутоматизације производње, прихваћено је да ће прелазак на парадигму И4.0 променити и начин на који компаније обављају остале пословне активности. Имајући то у виду, као и комплексност и брзину технолошког развоја у XXI веку, прецизније је говорити о дериватима И4.0 насталим као импликација њеног утицаја на појединачне

сегменте индустријске производње, као што су: Квалитет 4.0, Одржавање 4.0, Безбедност 4.0, Логистика 4.0 итд. У језгру свих технолошких пиlara И4.0 налази се адаптација и имплементација иновативних технологија (углавном информационих и комуникационих – ИСТ), кроз дигитализацију и интеграцију свих фаза животног циклуса производа, умрежавање машина, производа, система и људи у компанији, као и умрежавање компаније, купаца и добављача, затим симулација, моделирања и виртуализације процеса дизајна и производње, мерење, прикупљање и анализе великих података (engl. Big data), итд.

Потреба за интензивним и континуираним унапређењем перформанси свих релевантних производних и пословних процеса представља, без икакве сумње, појединачно најважнији елемент пословне стратегије индустријских система организованих на Lean принципима управљања производним и пословним процесима (Lean индустријски системи), имајући у виду да то представља кључан предуслов за остварење конкурентске предности на све захтевнијем глобалном тржишту. Ригорозно постављени критеријуми перформанси које карактерише нулта толеранција према свим облицима губитака и расипања намећу Lean индустријским системима императив за напуштањем традиционалних приступа и принципа у циљу изналажења нових модела, као и инвентивних и напредних алата који ће омогућити достизање строгих критеријума изврсноности који се често означавају синтагмом ”производња светске класе”.

Индустрија 4.0, са својим технолошким пиларима и припадајућим алатима и методима, представља свакако најбогатији, најперспективнији и најизазовнији инжењерски ресурс који Lean индустријски системи могу имплементирати и остварити читав низ компаративних предности и разноврсних бенефита. Компаније које свој модел организације и управљања производним и пословним процесима базирају на развијеним Lean индустријским концептима, као што су WCM (World Class Manufacturing) и TPM (Total Productive Maintenance/Manufacturing) имају и додатне предности и погодности за стимулативни приступ имплементацији алата и метода И4.0. Пре свега WCM и TPM Lean индустријски системи такође имају развијене пиларске структуре (8 или 10 техничких пиlara), које представљају основне сегменте и процесе савремених производних система. Комбинација пиларских структура И4.0 и Lean индустријских система представља захвалну и флексибилну платформу за спровођење научне анализе могућности и ограничења имплементације као и за различите комбинације и варијације у избору алата и метода И4.0 са једне стране и места њихове имплементације и постављених циљева, са друге стране. Такође, резултати постигнутих унапређења у оквиру посматраног техничког пиlara Lean индустријског система може се верификовати кроз праћење прецизно дефинисаног сета показатеља означених као КПИ – кључни индикатори перформанси. Све наведено омогућава да се анализи проблема имплементације И4.0 у Lean индустријске системе може приступити сепаратно и фокусирано, кроз идентификацију процеса и модел зона у којима се могу очекивати значајни резултати у виду унапређења посматраних параметара процеса.

Предложена тема ове докторске дисертације фокусирана је на истраживањима могућности и ограничења као и на верификацији модела практичне имплементације изабраних алата и метода технолошких пиlara концепта И4.0 у циљу унапређења перформанси посматраних процеса у пиларима Lean индустријских система кроз решавања идентификованих, карактеристичних проблема из индустријске праксе.

Кандидат је предложио програм истраживања у наведеној области, који је у складу са савременим научним методама истраживања. Истраживање се заснива на развоју решења и експерименталној валидацији.

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 датој области.

Веза са досадашњим истраживањима

Увидом у радну биографију, објављене радове у научним и стручним часописима, као и радове објављене на међународним конференцијама, може се закључити да се кандидат Арсо М. Вукићевић бавио применом различитих метода обраде и анализе слика, вештачке интелигенције и развоја софтверских и експертских система у различитим областима инжењерства. Учешће кандидата на низу међународних и домаћих научно-технолошких и иновационих пројеката представља добру основу за реализацију ове дисертације. Рад у оквиру ове дисертације омогућава кандидату да оствари континуитет у свом истраживачком раду, што поред стручног усавшавања кандидата има за циљ и могућност примене решења у индустријској пракси.

Предложена истраживања кандидата ослањала би се на истраживања аутора из следећих области, које су у дисертацији дефинисане као засебне целине (поглавља):

- *Безбедност на раду и ергономија радног места*

Област безбедности на раду се може посматрати са више различитих аспеката. У оквиру ове дисертације, биће разматрани проблеми из области безбедности и здравља на раду (engl. occupational safety and health – OSH), као мултидисциплинарној области која се бави побољшањем безбедности, здравља и благостања (engl. Welfare) људи у радном окружењу. У току последње деценије, циљеви и критеријуми безбедности на раду су се променили на глобалном нивоу. Данашња индустрија има иницијативу за постизањем тзв. нултог циља, као најприкладнијег и најпожељнијег броја повреда и незгода у производном процесу. Укратко, „компаније са нултим инцидентима“ усмеравају своју пажњу на проактивну идентификацију догађаја-претходника несрећа, чија би контрола и превенција требала спречити несреће. Према Хенриховој пирамиди, проактивна идентификација небезбедних услова (НУ) и несигурних радњи (НП) имају највећи утицај на укупну безбедност. Иако њихова дефиниција и значај могу варирати у зависности од типа индустрије и / или компаније, неки типични примери НУ су: лоше одржавање подова,

неодговарајућа радна одећа за специфичну радну активност, лоше осветљење, недостатак заштитних уређаја, итд; примери НП су: коришћење неисправне опреме, руковање опремом без ауторизације, уклањање сигурносних уређаја, остављање алата и опреме на неодговарајућим местима, итд. Иако постоје препоруке предложене у оквиру регулаторних стандарда¹, управљање безбедношћу на радном месту на традиционалан начин показало се као напоран и сложен процес. Будући да НУ и НП могу варирати од физичке до дигиталне форме, све су већи захтеви за прилагођеним ИСТ решењима која могу помоћи у проактивној превенцији несрећа кроз дигитализовано управљање извештајима о безбедности на раду.

Идентификација захтева и изазова безбедности на раду представља полазну тачку за разумевање како се тренутна пракса може унапредити применом принципа И4.0. У литератури су неки аутори предложили: виртуелно окружење, сензоре за прикупљање великих података, RFID (енгл. Radio-frequency identification) системе, примену симулација и моделирања окружења, као и носиве системе за побољшање безбедности на радном месту. Већина ових решења се још увек развија и неке од њих подразумевају и значајна улагања – што су уједно и главна брига малих и средњих предузећа (МСП). У оквиру рада нагласак ће бити на потребама МСП-а због чињенице да они генеришу највећи део бруто друштвеног производа (БДП-а) и могућности запошљавања у развијеним земљама. Стога је претпостављено да ће се постићи већи допринос кроз разматрање и покривање њихових потреба.

Тренутна пракса подразумева да радници сами препознају и креирају извештаје о небезбедним условима и небезбедним поступцима. У ток контексту, истраживања ће бити примарно усмерена ка развоју система који дигитализује и убрзава управљање извештајима али је ослобођен анализе дешавања у радном окружењу. Иако су визија и когнитивне способности веома интуитивни задаци за сваког човека, са аспекта дигитализације и аутоматизације - тренутна технолошка достигнућа су још увек далеко од могућности просечног човека. У сваком случају, напретци на пољу разумевања и анализе сцена употребом техника машинске визије подстрек су за њихову примену у бројним гранама индустрије, укључујући аутономна возила, препознавање лица људи, праћење-анализу кретања спортиста на утакмицама, идентификација регистарских таблица на аутопутевима, дигитализација писаних докумената, аутоматска анализа медицинских слика итд. Пошто су радно окружење и радни задаци у индустрији доста комплексни и варијабилни процеси, део истраживања ће бити фокусиран на радни задатак транспорта материјала помоћу ручних колица. Овај проблем је битан и репрезентативан са аспекта безбедности на раду јер узрокује оштећења мускулоскелетног система, који су главни узрок одсуства са посла у свету. У конкретном случају, приликом транспорта материјала

¹ ISO 9001 (quality management), ISO 14001 (environmental management) standards and OHSAS 18001 (Occupational Health & Safety Assessment Series) & OSHA VPP (Voluntary Protection Programs) certifications

радници врше две акције: гурање и вучу колица - које, иако једноставне радне операције, често бивају обављане неправилно и дугорочно узрокују болове у леђима или другим деловима тела². У нашем случају, фактори ризика укључују физиономију радника (висина, тежина, године, историја повреда), којој треба прилагодити дизајн колица (висину ручке) и максималну тежину терета који се транспортује. Према томе, проблем који ће се разматрати јесте могућност употребе техника машинског учења и машинске визије у циљу идентификације-препознавања небезбедних поступака. Конкретно, задатак је препознавање неправилног положаја тела и недозвољене силе којом радник делује на колица за транспорт материјала.

- *Контрола и управљање квалитетом производа*

Екструдовање је комплексан производни процес, који се укратко може описати као континуалан поступак прераде пластичних маса у циљу добијања производа жељеног облика - у нашем случају гумених профила. Контрола квалитета и квантитативна провера прецизности израде гумених делова је веома захтеван процес, како за човека тако и за компјутеризоване системе. Основни разлог је чињеница да је гума веома савитљив материјал, па ју је тешко довести у референтни положај како би се извршило директно мерење-поређење са пројектованом геометријом. У овом раду фокус је на гуменим профилима – који се производе за потребе аутомобилске индустрије. Тренутно заступљена контрола гумених профила подразумева коришћење уређаја под називом „профил пројектор“, који пројектује сенку гуменог профила на технички цртеж одштампан на паус папиру. На тај начин оператору се омогућава да упореди димензије произведеног профила са пројектованим.

Из перспективе менаџмента контролом квалитета, недостаци тренутне праксе су: 1) Време потребно за инспекцију једног пресека траје од пола до два минута, у зависности од обучености оператора; 2) Примећена је велика интер/интра обсервер варијабилност мерења. Наиме, уколико један оператор два пута постави исти профил на носач, може се десити да гумени профил заузме различит положај, што утиче негативно на поузданост резултата инспекције. 3) Отежана је контрола исправности самог поступка мерења. Како је мерење базирано на низу мануелног позиционирања паус папира на пројектовану сенку профила, менаџмент је ускраћен за информације о утренираности самог оператора – од велике користи би била могућност бележења сваког мерења у форми слике, тако да оператори који контролу гумених профила врше недовољно исправно могу бити упозорени или додатно обучени. 4) Систем колекције извештаја базиран је на традиционалној-папирној форми. Дигитализацијом контроле димензија профила и генерисања извештаја омогућио би се менаџменту брже и лакше управљање производњом

² Према извештајима, бол у леђима је један од највећих здравствених проблема на раду, како на радним местима која подразумевају физички рад тако и код канцеларијских послова. Из тог разлога, проблем бола у леђима (engl. Backpain) као последица неадекватних радних услова или неадекватних поступака на раду представља предмет је бројних истраживања у свету.

и пратећом документацијом; и 5) Нису пожељна мењања производне линије и производног процеса. Решење треба да буде развијено избегавањем употребе скупе опреме (напредне индустријске камере са пратећим софтвером коштају по више хиљада евра).

Доступни научни радови на тему инспекције гумених екструдованих профила применом техника машинске визије фокусирани су углавном на профиле једноставнијих димензија и употреби комплексних система који укључују куповину и инсталирање додатне опреме на производну линију. На основу разматране литературе, и реалних проблема у индустрији, може се закључити да постоји потреба за даљим усавршавањем и аутоматизацијом процеса контроле екструдованих гумених профила. При томе, посебан акценат се ставља на једноставност и могућност примене самог решења у пракси – тако да се не нарушава успостављени и стандардизовани ток производње и контроле. Из тог разлога, проблем који ће се разматрати у оквиру дисертације је развој приступачног система који би функционисао на бази употребе једне камере (зато што је попречни пресек профила дводимензионални, и може се посматрати као равански проблем ако је камера уперена управно на њега).

- *Логистички аспекти праћења токова материјала и производа*

Иако наизглед једноставан радни задатак, управљање током материјала у складишту може бити веома комплексан посао чији застоји и неефикасно обаљање директно утичу на успоравање производње и прављење великих губитака за компанију. У оквиру ове тезе, акценат ће бити на управљању-праћењу материјалима који се транспортују на палетама и који се смештају на предвиђеном простору производног погона. Тренутно, у литератури су доступни радови на тему примене техника компјутерске визије за детектовање и праћење предмета и процеса на градилиштима, производње делова у аутомобилској индустрији, контролу робота који аутоматски пакују или сортирају робу у складиштима, као и употребу машинске визије за потпуну замену људске снаге у трговинским ланцима (нпр. комерцијално решење Amazon Go). Пошто су истраживања у овој области још увек у почетним фазама, а комерцијалано доступна још увек у развојној фази и прилично скупа и комплексна (потребно је доста сензора и додатне опреме), у овој дисертацији ће бити разматран проблем развоја приступачног решења које задовољава описане потребе предузећа. Из тог разлога, фокус ће бити на истраживању могућности употребе камера којима се може приступити преко интернета (IP камерама) и техникама машинске визије и обраде дигиталних слика. Конкретно, проблем који ће се изучавати је формулисан на основу сарадње са предузећем из индустрије, где су забележени вишесатни застоји у позиционирању и праћењу палета у складишту. За те потребе, потребно је развити информациони систем који ће у реалном времену преко IP камера препознати QR кодове на палетама и путем cloud система обавестити запослене о положају траженог пакета-материјала.

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

Основни научни циљ рада на докторској дисертацији јесте да се кроз спровођење интердисциплинарних истраживања и комбинацију теоријско научне анализе и моделирање потенцијално апликативних решења конкретних индустријских студија случаја да допринос разумевању могућности и ограничења за имплементацију метода и алата технолошких пилара И4.0 у процесу континуираног унапређења процеса у Lean индустријским системима. Реализоване модел зоне са примерима апликације пилара 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 делу који се односи на пилар безбедности на раду први постављени циљ се огледа у дефинисању оквира и платформе за управљање инфорацијама које се односе на континуирани процес идентификације и извештавања о утврђеним небезбедним условима и небезбедним поступцима (НУ и НП) у реалном времену. Комплексност проблема се огледа у потреби да се у овај процес, кроз одговарајућу дигиталну информациону платформу укључе сви запослени, да се обезбеди генеричка и респонзивна доступност на мобилним уређајима и проактивна идентификација НУ и НП. Развијена платформа мора да задовољи критеријуме скалабилности и флексибилности како би се могла применити у широком спектру индустријских система независно од њихове структуре и сложености. У том смислу, потребно је истражити тренутне трендове И4.0 и ИСТ, тако да предложена софтверска архитектура одговара тренутним и будућим потребама.

У другом делу спроведене студије у области безбедности и ергономије радног места постављени научни циљ се огледа у развоју и процени функционалности и имплементабилности модела експертског система за процену 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 пилар Контрола квалитета производа постављени циљ се односи на утврђивање могућности спровођења процеса површинске димензионе контроле производа од еластомерних материјала сложене геометрије применом метода машинске визије. Овај специјални случај представља веома комплексан задатак за спровођење процедуре мерења и контроле и добијени резултати 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 односи на пилар Логистике и логистички аспекти праћења токова материјала и производа постављени циљеви се односе на испитивање могућности развоја и примене једноставних и приступачних решења система за идентификацију и препознавање јединичних палетизованих паковања у комбинацији са информационом системом који у реалом времену омогућава праћење тока материјала кроз производни процес. Анализираће се могућност реализације решење базираног на cloud технологији и на примени широко доступних IP камера. Као сензорских елемената система машинске визије. Верификација концепта и модела омогућила би значајно проширење могућности имплементације оваквих система у пракси.

Предложена дисертација се заснива на следећим хипотезама:

- Прикупљање, чување и обрада извештаја о небезбедним условима и небезбедним поступцима на радном месту и у радној околини се може унапредити дигитализацијом. На тај начин, употребом мобилних уређаја и интернет (engl. Cloud) технологија, олакшао би се проактивни приступ идентификацији потенцијалних ризика по безбедност и здравље запослених и унапредио систем тренинга запослених за безбедан рад. Правилним одабиром архитектуре и технологија може се одговорити на главни изазов и захтев И4.0, а то је развој скалабилног и прилагодивог система – како на пораст и промену броја корисника и количине података који се размењују, тако и на промену самих технологија током времена.
- Употребом техника вештачке интелигенције и машинске визије може се остварити препознавање положаја делова тела радника у циљу раног упозоравања на ергономске ризике и идентификацију небезбедних поступака запослених чији радни задаци укључују мануелне послова. Аутоматизованим препознавањем и упоређивањем са ергономским стандардима може се извршити превенција повреда на раду и унапређење ергономских услова на радном месту.
- Применом техника машинске визије и дигиталне обраде слике могуће је спровести комплексна раванска димензиона испитивања производа сложене геометрије, израђених од флексибилних, еластомерних материјала. Дигитализацијом процеса контроле се, поред повећања ефикасности, може унапредити систем документовања и праћења извештаја контроле квалитета.
- Праћење токова материјала у производњи се може унапредити техникама машинске визије и интернет ствари (IoT). Препознавање палетираних производа, полупроизвода и компоненти у производном простору спроводило би се преко идентификације положаја штампаних кодова (нпр. QR или бар-код) помоћу стандардних надзорних камера којима се може приступити путем интернета.

Методе истраживања

За реализацију докторске дисертације кандидат ће користити низ методологија, које ће бити базирани на примени-интеграцији, унапређењу постојећих и развоју нових решења – која се ослањају на основним концептима Индустрије 4.0 (укључујући технике машинске визије, вештачке интелигенције, интернет ствари и облак технологија). Ради се о актуелним технологијама које у последње време бележе и подстичу напредак у разним областима индустрије и науке, од аутоматизованог препознавања људи на социјалним мрежама до аутономне вожње и војно-безбедносних система. Конкретно, за потребе решавања прве студије случаја користиће се технологије за развој мобилних апликација које комуницирају преко интернета.

За потребе решавања друге студије случаја користиће се посебно направљен уређај за мерење силе којом радници врше задатке транспорта материјала ручним колицима. Додатно, користиће се низ алгоритама вештачке интелигенције (неуронске мреже, линеарна регресија и алгоритми за препознавање положаја тела у тродимензионалном простору на основу слика снимљених преко камере којој се приступа преко интернет конекције) за развој експертског система за процену небезбедних поступака и ризика од повреде.

У оквиру треће студије случаја користиће се низ метода из области обраде слика и препознавања облика (алгоритам контекста облика, интерактивни облак тачака, као и различити филтери за детекцију ивица и централних линија).

У последњој, четвртој, студији случаја користиће се алгоритми за препознавање QR кода, обраду дигиталних слика које из делова покривају простор од интереса, а који је покривен са неколико дигиталних камера којима се приступа са удаљеног web-сервера. За потребе имплементације наведених методологија користиће се следећи развојни алати: Visual Studio, PyCharm и Matlab; као и следеће библиотеке и софтверски пакети TensorFlow, OpenCV, Node.js, React Native и MongoDB.

Оквирни садржај докторске дисертације

Планирано је да докторска дисертација буде реализована кроз осам поглавља:

1. Уводна разматрања
2. Lean-а индустријским системима и праћење перформанси процеса
3. Трендови и могућности примене технолошких пилаара Индустрије 4.0 у Lean-а индустријским системима
4. Безбедност на раду и ергономија радног места
5. Контрола и управљање квалитетом производа
6. Логистички аспекти праћења токова материјала и производа

7. Закључна разматрања и правци будућих истраживања
8. Литература.

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

На основу представљеног концепта, може се закључити да постоји интересовање за развојем побољшањем Имајући у виду текући технолошки прогрес Индустије 4.0, доступни број студија и растуће потребе индустријске праксе за дигитализацијом и унапређењем перформанси процеса у LEAN индустријским системима, предложена докторска дисертација даће допринос овој врсти студија.

Предложена тема ове докторске дисертације фокусирана је на истраживањима могућности и ограничења као и на верификацији модела практичне имплементације изабраних алата и метода технолошких пилаара концепта И4.0 у циљу унапређења перформанси посматраних процеса у пилаарима Lean индустријских система кроз решавања идентификованих, карактеристичних проблема из индустријске праксе.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације, са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносима и очекиваним резултатима, насталим детаљном анализом доступних научних радова у научном и стручном смислу, оригинална идеја.

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 Арсо М. Вукићевић ће у својој докторској дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког рада, поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

Кандидат ће детаљно проверавати полазне хипотезе, теоријски - анализом обимне литературе и извора, у већини случајева новијег датума и експериментално – решавањем постављених проблема и студија случаја.

У достављеној пријави теме, кандидат се служио одговарајућом терминологијом из области, која је предмет рада. Дефиниција предмета истраживања је усклађена са основним појмовима, предложеним хипотезама и методама истраживања. Кандидат је показао изразиту способност за селекцију и анализу литературних извора.

С обзиром на то да су циљеви истраживања проистекли из запажених недостатака и недовољне изражености проблема, добијени резултати представљали би оригиналан допринос истраживачкој области.

5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

а. Кратка 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 на смеру Информатика у инжењерству са општим успехом 9,43 (девет 43/100) у току студија, и оценом 10 (десет) на завршном раду из предмета Базе података. 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 на смеру Информатика у инжењерству са општим успехом 9,94 (девет 94/100) у току студија, и оценом 10 (десет) на дипломском испиту из предмета Биоинжењеринг и биоинформатика.

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 информационим 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. Од 2016 ради као доцент на Факултету информационих технологија у Београду.

б. Научно-истраживачки рад

Као аутор или коаутор објавио је укупно 16 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 радови чији се резултати или методологије односе или ће се користити у пријављеној дисертацији:

Списак објављених радова:

M21 Рад у врхунском међународном часопису (1)

1. **Arso M Vukicevic**, Gordana R Jovicic, Miroslav M Stojadinovic, Rade I Prelevic, Nenad D Filipovic. Evolutionary assembled neural networks for making medical decisions with minimal regret: Application for predicting advanced bladder cancer outcome. Expert Systems With Applications, ISSN: 0957-4174, 2014, vol. 41, br. 18, str. 8092–8100, doi: 10.1016/j.eswa.2014.07.006M33

M22 Рад у истакнутом међународном часопису (1)

1. **Arso M. Vukicevic**, Gordana R. Jovicic, Milos N. Jovicic, Vladimir L. Milicevic, Nenad D. Filipovic. Assessment of Cortical Bone Fracture Resistance Curves by Fusing Artificial Neural Networks and Linear Regression. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, ISSN: 1025-5842, 2018, vol. 21, b. 2, str. 169-176, DOI:10.1080/10255842.2018.1431220.

M23 Рад у међународном часопису (1)

1. Aleksandar Vujovic, Petar Todorovic, Miladin Stefanovic, **Arso Vukicevic**, Mina Vaskovic Jovanovic, Ivan Macuzic, Nikola Stefanovic. The Development and

Implementation of an Aquaponics Embedded Device for Teaching and Learning Varied Engineering Concepts. International journal of engineering education, vol. 35, br. 1, str. 88-98.

M33 Саопштење са међународног скупа штампано у целини (0)

M53 Рад у научном часопису (0)

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

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Арсо М. Вукићевић, испунио је све предвиђене услове за одобрење израде 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:


„Унапређење перформанси процеса у LEAN индустријским системима применом технолошких пилара Индустрије 4.0“

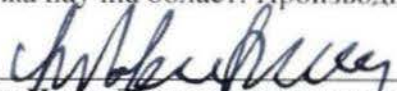
прихвати и одобри њену израду кандидату **Арсу М. Вукићевићу**.

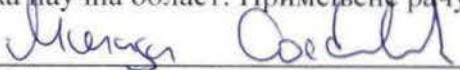
Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Иван Мачужић, ванредни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.


У Крагујевцу,
08. 05. 2019. год.


КОМИСИЈА


Др **Петар Тодоровић**, редовни професор – председник Комисије,
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу,
Ужа научна област: Производно машинство.


Др **Иван Луковић**, редовни професор – члан
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
Ужа научна област: Примењене рачунарске науке и информатика.


Др **Миладин Стефановић**, редовни професор – члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Уже научне области: Производно машинство, Индустријски инжењеринг


Др **Иван Мачужић**, ванредни професор – члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Ужа научн област: Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент


Др **Милан Ерић**, редовни професор – члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Ужа научна област: Производно машинство