ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
Бр. 01-1/4269
29.10.26 год.
КРАГУЈЕВАЦ

ОБРАЗАЦ 6

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ

и

ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ

УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу одржаној 22.10.2026. године (број одлуке: IV-04-584/20) одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом: **„Развој модела за унапређење Lean индустријских система применом напредних роботских решења"**, кандидата **Настасије Николић**, студента докторских академских студија мастер инжењера организационих наука, за коју је именован ментор **др Марко Ђапан**, **редовни професор**.

На основу података којима располажемо достављамо следећи:

ИЗВЕШТАЈ

О ОЦЕНИ УРАЂЕНЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

1. **Подаци о докторској дисертацији**
1.1.Наслов докторске дисертације:
Развој модела за унапређење Lean индустријских система применом напредних роботских решења
1.2.Опис докторске дисертације (навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, шема, графикона, једначина и референци) (до 500 карактера):
Докторска дисертација обухвата 136 страница, 7 поглавља, 42 слике, 44 табеле и 224 референце. Дисертација се бави развојем ARIM модела за доношење одлука о избору и имплементацији роботских решења у Lean индустријским системима. Развијени модел интегрише оперативне, економске, квалитативне и безбедносне аспекте, анализу ризика и осетљивости, итеративно тестирање и пилот примену, уз развој софтверског алата и валидацију кроз индустријску студију случаја.
1.3.Опис предмета истраживања(до 500 карактера):
Предмет истраживања је процес доношења одлука о избору и имплементацији роботских решења у Lean индустријским системима. Истраживање је усмерено на идентификацију и евалуацију фактора који утичу на избор роботског решења, укључујући оперативне, економске, квалитативне и безбедносне аспекте, као и анализу ризика, неизвесности и утицаја роботизације на перформансе Lean индустријског система.

1.4. Анализа испуњености полазних хипотеза:

Постављене хипотезе анализиране су на основу резултата теоријског и емпиријског истраживања, развијеног ARIM модела, софтверског решења и резултата индустријске студије случаја. Хипотеза I је потврђена, јер је развојем ARIM модела кандидат показао да се интеграцијом широког спектра релевантних фактора може извршити процена будућег стања Lean индустријског система и идентификовати потенцијалне предности и ограничења имплементације роботског решења. Модел омогућава сагледавање ефеката имплементације роботског решења на нивоу целокупног производног система, као и итеративно преиспитивање постављених претпоставки. Хипотеза II је такође потврђена резултатима примене модела и софтверског решења којима је кандидат показао да је могуће подржати избор радне станице и адекватног роботског решења на основу очекиваних ефеката на производни систем, а пре пуне физичке имплементације. Хипотеза III је потврђена будући да модел омогућава израчунавање кључних економских показатеља укључујући период повраћаја инвестиције, поврат на улагање, нето садашњу вредност и тачку рентабилности. На овај начин кандидат је омогућио свеобухватну процену економске оправданости предложеног роботског решења. Хипотеза IV потврђена је уз одређена ограничења, јер модуларна структура ARIM модела и софтверског решења омогућава њихову конфигурацију за различите производне сценарије и услове. Међутим, применљивост није условљена потпуном независношћу од специфичности индустрије, већ захтева прилагођавање улазних параметара, тежина и података конкретном производном систему. Дакле, универзалност модела се огледа пре свега у његовој структури, модуларности и могућности реконфигурације.

1.5. Анализа примењених метода истраживања:

Кандидат је у оквиру докторске дисертације применио комбиновани методолошки приступ, којим су обухваћене теоријске, квалитативне, као и квантитативне методе. Кандидат је адекватно одабрао методе у односу на предмет, циљеве и структуру истраживања. Њихова комбинација омогућила је развој, верификацију и емпиријску евалуацију ARIM модела, као и проверу његове применљивости у реалном индустријском окружењу. У теоријском делу кандидат је применио методе анализе и синтезе, као и компаративне методе у циљу систематизације релевантних научних сазнања и дефинисања теоријских оквира истраживања. Као основну истраживачку парадигму кандидат је применио Design Science Research (DSR) приступ, у оквиру којег је развио и евалуирао ARIM модел као истраживачки артефакт. Математичко и економско моделовање кандидат је применио како би дефинисао улазне параметре, њихове везе и операционализацију показатеља перформанси. За експертску валидацију идентификованих кључних индикатора перформанси кандидат је користио полуструктуриране интервјуе и Likert скалу, док је Weighted Sum Method (WSM) примењен за вишекритеријумско рангирање потенцијалних радних станица за роботизацију. Кандидат је емпиријску проверу извршио кроз индустријску студију случаја, при чему је применио симулациони приступ и анализу сценарија како би упоредио мануелни и роботизовани производни сценарио. Такође, кандидат је користио анализу осетљивости како би испитао утицај промене кључних параметара и робусности резултата. Математичка конзистентност модела додатно је проверена унакрсном валидацијом независних имплементација у Python и TypeScript окружењу, као и провером математичких и економских инваријанти и понашања модела у граничним случајевима. Дедуктивно и индуктивно закључивање кандидат је користио за повезивање резултата појединачних фаза истраживања, анализу хипотеза као и формулисање научног и практичног доприноса.

Примењене методе су међусобно комплементарне и одговарају предмету, иљевима и фазама истраживања, при чему је њихова комбинације омогућила теоријско утемељење, развој и верификацију модела, емпиријску проверу и оцену његове применљивости у реалном индустријском окружењу.

1.6. Анализа испуњености циља истраживања:

Циљ истраживања докторске дисертације који се односи на развој интегрисаног модела за подршку одлучивању о имплементацији роботских решења у Lean индустријским системима у потпуности је остварен. Развијен је ARIM модел којим су интегрисани различити аспекти одлуке о роботизацији. Математичка и економска операционализација омогућила је процену очекиваних промена и оправданости имплементације роботског решења пре саме имплементације. Циљ је додатно реализован развојем софтверског решења, док је примена симулације, анализа осетљивости и студије случаја потврдиле су применљивост развијеног приступа у реалном индустријском окружењу. На основу наведеног, може се закључити да су постављени научни циљеви истраживања остварени, а развијени модел представља функционалан оквир за систематичну и аргументовану подршку одлучивању о имплементацији роботских решења у Lean индустријским системима.

1.7. Анализа добијених резултата истраживања и списак објављених научних радова кандидата из докторске дисертације (аутори, наслов рада, назив часописа, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број[1], категорија):

Резултати спроведеног теоријског и емпиријског истраживања показују да је развијени ARIM модел развијен у оквиру ове докторске дисертације остварио постављену намену у погледу подршке одлучивању о избору и имплементацији роботских решења у Lean индустријским системима. Резултати потврђују оправданост интеграције различитих фактора који карактеришу производни систем и роботског решења. На овај начин омогућено је свеобухватно сагледавање ефеката роботизације.

Примена развијеног модела омогућила је идентификовање и рангирање радних станица за роботизацију на основу више критеријума. Избор радне станице заснован је не само на техничкој погодности, већ и на очекиваним производним, економским, организационим и ергономским ефектима или ефектима безбедности. На овај начин омогућено је објективно посматрање дефинисаних приоритета роботизације.

Симулацијом мануелног и роботизованог производног сценарија омгућено је испитивање очекиваних промена перформанси пре имплементације роботског решења у пуном обиму. Омогућен је увид у утицај на време циклуса, производни капацитет, расположивост, перформансе и квалитет. На овај начин смањена је неизвесност посматране инвестиционе одлуке.

Економска анализа спроведена у докторској дисертацији указује на могућност повезивања техничких и производних резултата са финансијским показатељима. У оквиру дисертације одређује се период повраћаја инвестиције, повратa на улагање, тачка рентабилности као и нето садашња вредност. Економска оправданост процењује се заједно са производним и техничким ефектима, а не независно од њих.

Додатно, анализа осетљивости показује значај појединих улазних параметара за коначни резултат модела и омогућава идентификовање фактора чија промена може значајно утицати на оправданост инвестиционе одлуке. Резултати валидације прорачунског језгра кроз независне имплементације у Python и TypeScript окружењу, као и провера математичких и економских инваријанти и граничних случајева, додатно су подржали конзистентност и поузданост модела.

Резултати индустријске студије случаја потврдили су практичну применљивост развијеног приступа. Истовремено, резултати указују да применљивост модела зависи од доступности и квалитета улазних података и адекватног подешавања параметара за конкретно индустријско окружење. Ово ограничење не умањује значај модела, већ представља важан услов за правилно

[1]Уколико публикација нема DOI број уписати ISSN и ISBN

тумачење добијених резултата.

Добијени резултати показују да ARIM представља функционалан интегрисани оквир за подршку одлучивању, којим се повезује вишекритеријумска процена, симулација, анализа перформанси, економско вредновање и анализа осетљивости. Научни и практичан значај резултата огледа се у могућности да се одлуке о роботизацији доносе на основу системске и мерљиве процене очекиваних ефеката, пре реализације саме инвестиције.

Nikolic, N., Caiazzo, C., Macuzic, I., Todorovic, P., Djapan, M., ARIM: A Technology Management Framework for Agile and KPI-Driven Robotics Adoption in SMEs, Eng, 7, 2026, 413, https://doi.org/10.3390/eng7080413, M21.

Nikolic, N., Djapan, M., Damjanovic, A., Radenkovic, M., Macuzic, I., Implementation of robotics for Lean manufacturing improvement, International Journal for Quality Research, 17, 2023, 1127-1140, https://doi.org/10.24874/IJQR17.04-10. M23.

Nikolic, N., Caiazzo, C., Macuzic, I., Kauppila, O., Vukicevic, A., Djapan, M., Use of Genetic Algorithm to Determine the Optimal Path for the Autonomous Mobile Robot, 12th International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (IcETRAN), Čačak, 2025, 196-200, https://doi.org/10.69994/12Ic25038. M33.

Nikolic, N., Caiazzo, C., Djapan, M., Macuzic, I., Milojevic, Dj., Jovicic, A., Whether to implement robotic solutions in Lean industrial systems: A decision based on financial indicators, IS'23-19th International Scientific Conference on Industrial Systems, Novi Sad, 2023, 88-93, ISBN: 978-86-6022-623-7. M33.

1.8. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области и анализа извештаја о провери докторске дисертације на плагијаризам (до 1000 карактера):

Докторска дисертација представља резултат самосталног и оригиналног научноистраживачког рада кандидата у области индустријског инжењерства, са фокусом на Lean индустријске системе и имплементацију роботских решења. Оригинални допринос огледа се пре свега у развоју ARIM модела за подршку одлучивању, његовој методолошкој разради, развоју пратећег софтверског алата и провери применљивости кроз индустријску студију случаја.

Према извештају о провери докторске дисертације на плагијаризам, утврђен је степен подударности од 1%. Утврђена подударност односи се на библиографске референце, односно на делове који по својој природи не представљају плагијат. На основу наведеног резултата и увида у садржај дисертације, може се закључити да дисертација испуњава захтеве у погледу оригиналности научног рада.

1.9. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области:

Докторска дисертација је тематски и методолошки позиционирана у актуелном подручју истраживања. Значај истраживања произилази из све интензивније примене роботских технологија у производним системима и потребе да се одлуке о њиховој имплементацији не заснивају искључиво на техничким карактеристикама опреме, већ и на интегрисаној процени утицаја роботизације на целокупан производни систем.

Савремени трендови у индустријском инжењерству усмерени су ка флексибилним, адаптивним и производним системима фокусираним на човека. У овим производним системима роботика се све више повезује са симулацијом и напредним системима за подршку одлучивању. Истраживања указују на значај анализе различитих сценарија пре физичке реализације, као и питања генерализације и скалабилности у процесу одлучивања. У том контексту, ова докторска

дисертација сам проблем избора и имплементације роботског решења посматра као сложени проблем вишекритеријумског одлучивања на нивоу производног система. Развијени ARIM модел интегрише оперативне, економске, квалитативне и безбедносне аспекте имплементације роботских решења и повезује их са проценом очекиваних ефеката инвестиционе одлуке. Такође, са методолошког становишта дисертација је значајна јер се заснива на комбинацији Design Science Research парадигме, моделовању, вишекритеријумском одлучивању, симулацији, економској анализи, експертској евалуацији и анализи осетљивости. Посебну вредност представља систематско повезивање техничких и производних параметара са економским показатељима чиме се сама имплементација роботских решења анализира и као пословна и инвестициона одлука.

Сам модел који је развијен у оквиру докторске дисертације операционализован је кроз развој софтверског решења. На овај начин је теоријски и математички модел преведен у функционални систем и омогућена је његова практична применљивост. Практични значај дисертције потврђен је применом развијеног приступа у индустријској студији случаја. Дисертација повезује научно-методолошки приступ са реалним потребама индустријске праксе.

Посебно је значајна чињеница да се роботизација посматра у складу са принципима Lean производње. Роботизација није представљена као циљ сам по себи, већ се анализирају њени ефекти на ток вредности, перформансе, губитке, квалитет, ергономију и економску оправданост. Оваква перспектива је у складу са савременим развојем производних система, у којима се напредна роботика све више посматра у контексту флексибилности, одрживости и сарадње између човека и робота.

У односу на актуелно стање у области, допринос дисертације се може сагледати у настојању да се премости јаз између техничке процене роботских решења и доношења инвестиционе одлуке. Савремена истраживања све више указују на потребу интеграције симулационих и система за подршку одлучивању, као и на изазове у погледу генерализације модела и примене истих у различитим производним окружењима. Дисертација овом проблему приступа кроз модуларни модел који омогућава конфигурацију за различите производне сценарије, уз уважавање специфичности конкретног индустријског система.

Укупно посматрано, докторска дисертација има значајан научни као и практични допринос у области индустријског инжењерства и роботизације производних система.

1.10. Оцена испуњености услова за одбрану докторске дисертације у складу са студијским програмом, општим актом факултета и општим актом Универзитета (до 1000 карактера):

На основу увида у докторску дисертацију, анализе остварених резултата истраживања и расположиве документације, Комисија оцењује да су испуњени услови за одбрану докторске дисертације у складу са захтевима докторског студијског програма Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, као и општим актима факултета и универзитета. Дисертација по предмету, циљевима, методологији, оствареним резултатима и научним доприносима припада области индустријског инжењерства и усклађена је са садржајем и исходима студијског програма. Кандидат је испунио предвиђене услове у погледу реализације докторских студија, научноистраживачког рада и публиковања резултата истраживања. Дисертација је израђена у складу са прописаним правилима, а поступак провере оригиналности спроведен је у складу са одговарајућим актима универзитета.

На основу свега наведеног, Комисија сматра да су испуњени услови за приступање одбрани докторске дисертације.

2. ЗАКЉУЧАК

На основу анализе докторске дисертације и приложене документације Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом **„Развој модела за унапређење Lean индустријских система применом напредних роботских решења”**, кандидата **Настасије Николић**, предлаже надлежним стручним органима да се докторска дисертација прихвати и да се одобри њена одбрана.

Председник комисије:

Иван Мачужић, редовни професор

Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу

Индустријско инжењерство

Члан комисије

Арсо Вукићевић, доцент

Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу

Индустријско инжењерство

Члан комисије

Коста Јовановић, ванредни професор

Електротехнички факултет, Универзитет у Београду

Аутоматика