

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовано комисију Декан Факултета техничких наука на основу одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука; Решење број 012-199/41-2020 дана 30.12.2021.		
2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:		
1.	др Илија Ћосић	професор емеритус
	име и презиме Факултет техничких наука, Нови Сад	звање установе у којој је запослен
		Производни и услужни системи, организација и менаџмент, 24. 03. 2016. ужа научна област и датум избора Председник функција у комисији
2.	др Дубравко Ђулибрк	редовни професор
	име и презиме Факултет техничких наука, Нови Сад	звање установе у којој је запослен
		Инжењерство информационих система, 17.01.2018. ужа научна област и датум избора Члан функција у комисији
3.	др Драгослав Словић	редовни професор
	име и презиме Факултет организационих наука, Београд	звање установе у којој је запослен
		Индустријско и менаџмент инжењерство, 10.05.2018. ужа научна област и датум избора Члан функција у комисији
4.	др Слободан Морача	редовни професор
	име и презиме Факултет техничких наука, Нови Сад	звање установе у којој је запослен
		Производни и услужни системи, организација и менаџмент, 02.12.2020. ужа научна област и датум избора Члан функција у комисији
5.	др Александар Рикаловић	ванредни професор
	име и презиме Факултет техничких наука, Нови Сад	звање установе у којој је запослен
		Производни и услужни системи, организација и менаџмент, 18.02.2020. ужа научна област и датум избора Ментор функција у комисији

<p>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</p>
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Бојана, Милош, Бајић (рођ. Николић)</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 29.05.1992. Нови Сад, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Факултет техничких наука, Графичко инжењерство и дизајн, Мастер инжењер графичког инжењерства и дизајна</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2016; Индустријско инжењерство / Инжењерски менаџмент</p>
<p>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Модел за рано откривање неусаглашености процесних параметара у производним системима</p>
<p>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графика и сл.</p> <p>Докторска дисертација Бојане Бајић под називом „Модел за рано откривање неусаглашености процесних параметара у производним системима“ је изложена у 8 поглавља на 242 стране. Садржај дисертације је дат на 5 страна, а попис коришћене литературе са 250 референци наведен је на 18 страна. Докторска дисертација садржи 119 слика, 26 табела и 7 графика интегрисаних у основни текст дисертације. После насловне стране, приложена је кључна документација на српском и енглеском језику, након чега следи садржај, листа слика, листа табела, листа графика, предговор, апстракт на српском језику и наведена поглавља која представљају приказ истраживања која су извршена у оквиру дисертације, и то:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Увод 2. Теоретске основе производних система 3. Аналитика процесних података 4. Развој модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара у производним системима 5. Верификација модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара у производном систему 6. Дискусија резултата 7. Закључак 8. Литераура
<p>V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</p> <p>Наслов докторске дисертације је јасно формулисан и описује предмет, проблем и област истраживања.</p> <p>У првом, уводном поглављу приказана су општа разматрања и трендови који се тичу унапређења производних система применом савремених прилаза. Представљени савремени прилази су засновани на напредној обради доступних података и искоришћењу потенцијала прикупљених великих количина процесних података. Такав начин употребе података на основу којих се добијају скривене информације о процесима захтева промене унутар производних система. Промене у производним системима су праћене настанком</p>

неусаглашености процесних параметара који ометају ток производних процеса. Неусаглашености процесних параметара који се јављају у производним системима могу бити дефинисани као проблеми који доводе до губитака у предузећу. Према том разматрању изложена је основна идеја, проблем и предмет истраживања, циљ истраживања, хипотезе, методе истраживања и значај и допринос докторске дисертације.

Комисија сматра да су предмет, проблем, као и постављени циљ и хипотезе истраживања дефинисани јасно и концизно.

Друго поглавље обухвата преглед значајних теоретских истраживања почев од историјског развоја производних система и почетка индустријализације, преко *Технолошке* и *Дигиталне револуције*, па све до *Индустрије 4.0*. У овом поглављу акценат је стављен на унапређења производних система обухватајући ставове аутора о начину њиховог унапређења, где се до резултата дошло коришћењем методе систематског прегледа литературе. Такође, дато је појашњење о постојећим изазовима приликом унапређења производних система применом концепта *Индустрије 4.0* користећи методу систематског прегледа литературе. Ту је направљена дистинкција између менаџерских и технолошких изазова приликом имплементације овог концепта. Спознаја до које се дошло анализом менаџерских и технолошких изазова јесте да технологија аналитике великих података тренутно представља најзначајније технолошко „уско грло“ при имплементацији *Индустрије 4.0* за унапређење производних система. Након образложења о постојећим изазовима представљен је значај аналитике великих података применом аналитичких метода као о решењу проблема унапређења производних система, где је акценат стављен на анализу података у тренутку њиховог прикупљања (или у приближном тренутку) током производног процеса.

Комисија сматра да приказани преглед стања у литератури јасно указује на актуелност истраживања и на потребу за унапређењем производних система применом аналитике великих података са акцентом на анализу процесних података у тренутку њиховог генерисања (или у приближном тренутку). Теоријско утемељење и аргументација потребе за истраживањем и развојем модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара је потпуно јасна и концептуално оправдана.

Треће поглавље обрађује тему аналитике процесних података, где се први део поглавља базира на дефинисању и објашњењу процесних података, њиховој доступности унутар производних система, као и о важности њихове анализе. Даље, представљене су напредне технологије које омогућавају примену аналитике процесних података у производним системима, и то: Интернет ствари, *Cloud* системи рачунарске технологије, *Fog* системи рачунарске технологије и *Edge* системи рачунарске технологије. И на крају, са посебном пажњом представљене су методе аналитике процесних података у производним системима, које су груписане у напредне статистичке методе, методе машинског учења и фази логику. У наставку поглавља су детаљно представљене технике напредних аналитичких метода које могу да се користе за обраду процесних података.

Комисија сматра да обрађена тема аналитике процесних података указује на потребу за коришћењем напредних метода и техника приликом обраде процесних података генерисаних током производних процеса за унапређења производних система. На овај начин су обезбеђене потребне теоријске и практичне подлоге и реалне основе за даља експериментална истраживања.

У четвртном поглављу развијен је концептуални модел за рано откривање неусаглашености процесних параметара (РОНП) у производним системима. Процес развоја модела подељен је у седам главних фаза: процена тренутног стања производног система, дефинисање проблема неусаглашености у производном систему, идентификација утицајних параметара и прикупљање података, припрема и обрада прикупљених података, развој математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара помоћу изабране групе података, тестирање математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних

параметара и валидација математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара. У оквиру сваке фазе развоја РОИП модела, дефинисани су кораци за њихово спровођење. Поред тога, посматрајућу превасходно изазове унапређења производних система, развијени концептуални РОИП модел је заснован на употреби фази експертних система и метода напредне аналитике. Због сложености проблема унапређења у производним системима предложен је избор метода напредне аналитике које се заснива на употреби различитих техника за развој математичког РОИП модела, и то - напредне статистичке методе и методе машинског учења. Представљене технике напредне статистичке методе које могу бити коришћене приликом развоја математичког модела су: вишепараметарска линеарна регресија, логистичка регресија или Махаланобис-Тагучи систем. Као еквивалентне њима дате су технике метода машинског учења које могу бити коришћене приликом развоја математичког модела, и то: метода потпорних вектора за регресију, метода потпорних вектора за класификацију коришћењем избалансираног скупа података или метода потпорних вектора за класификацију коришћењем неизбалансираног скупа података.

Комисија је закључила да је методологија развоја модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара у производним системима представљена на јасан и систематичан начин. Поред тога, свака од седам фаза развоја модела је детаљно и концизно описана, што олакшава разумевање и примену развијеног модела.

У петом поглављу извршена је верификација концептуалног РОИП модела применом експерименталне методе. Верификација је извршена на основу методологије развијеног модела у индустријском окружењу производног система за производњу подних облога од винила. То је условило развој математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара на основу прикупљеног скупа процесних података генерисаних током производног процеса. Према фазама развоја РОИП модела и дефинисаном експерименту, развијена су два математичка модела применом различитих метода напредне аналитике са сврхом објективног доношења одлуке о томе која метода даје боље резултате на основу њихове компарације. То је урађено са циљем постизања аутоматизоване анализа процесних параметара у тренутку њиховог прикупљања у производном систему применом једног од два развијена математичка модела.

Комисија је закључила да је истраживање адекватно реализовано применом методе експеримента чиме је потврђена методологија развоја концептуалног РОИП модела у производном систему процесне индустрије, као и да су резултати сваке од фаза РОИП модела јасно приказани.

У шестом поглављу урађена је дискусија резултата добијених на основу постављеног експеримента. Према добијеним резултатима може се закључити да развијени РОИП модел представља ефикасан алат за рано откривање неусаглашености процесних параметара који условљавају настанак лошег или недовољно доброг квалитета производа. Поред раног откривања неусаглашености процесних параметара, употребом развијеног модела омогућена је и аутоматизована анализа процесних параметара у тренутку њиховог прикупљања коришћењем индустријског рачунара заснованог на примени *Edge* система рачунарске технологије. Практичном применом модела у производном систему је потврђена и његова флексибилност која се огледа у прилагођавању променама унутар производног процеса (нпр. увођење нових типова производа који спадају у релевантну групу производа). Даље, у оквиру дискусије добијених резултата урађена је и анализа постављених хипотеза где су све хипотезе потврђене.

Комисија констатује да дискусија резултата добијених верификацијом концептуалног РОИП модела представља значајан допринос докторске дисертације. Допринос се огледа превасходно у начину унапређења производног система применом напредних аналитичких метода, где су аутоматизованом анализом података у тренутку њиховог генерисања током производног процеса смањени губици у виду лошег или недовољно доброг квалитета

производа раним детектовањем неусаглашености.

У седмом поглављу је резимирано истраживање, где је опис целокупног модела представљен на систематичан начин истичући најважније његове карактеристике. Поред тога, формулисани су закључци уз сумирање научног доприноса дисертације са представљеном могућношћу и резултатима практичне примене РОНП модела у индустријском окружењу.

Комисија сматра да изведени закључци потврђују значај примене РОНП модела са циљем раног откривања неусаглашености процесних параметара у производним системима и да представља научни допринос области индустријског инжењерства и менаџмента.

У осмом поглављу је наведена коришћена литература по редоследу цитирања у докторској дисертацији.

Комисија консултује задовољавајући број релевантних литературних извора чиме се намеће закључак о поузданости изведених закључака изложених у дисертацији. Такође, велики број самоцитата у литературним изворима директно везаних за развој модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара у производним системима указује на релевантност кандидата за израду и одбрану докторске дисертације.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01.јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

На основу резултата истраживања у оквиру рада на докторској дисертацији објављени су следећи научни и стручни радови:

•радови у врхунским међународним часописима (M21)

1. **В. Вајић**, А. Rikalovic, N. Suzic, and V. Piuri, "Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Managerial Perspective," *IEEE Syst. J.*, vol. 15, no. 1, pp. 546–559, 2021. DOI: 10.1109/JSYST.2020.3023041, категоризација *Operations Research & Management Science*, IF2020 (3.931)

2. А. Rikalovic, N. Suzic, **В. Вајић**, and V. Piuri, "Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Technological Perspective," *IEEE Syst. J.*, In press, 2021. DOI: 10.1109/JSYST.2021.3101673, категоризација *Operations Research & Management Science*, IF2020 (3.931)

•рад у врхунском часопису националног значаја (M51)

3. **В. Вајић**, N. Suzic, N. Simeunovic, S. Moraca, and A. Rikalovic, "Real-time Data Analytics Edge Computing Application for Industry 4.0: The Mahalanobis-Taguchi Approach," *Int. J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 11, no. 3, pp. 146–156, 2020. DOI: 10.24867/IJEM-2020-3-260.

•саопштења са међународног скупа штампана у целини (M33)

4. S. Tesic, **В. Вајић**, I. Cosic, and A. Rikalovic, "Frugal Innovations in Industry 4.0: The Identification of Key Indicators," in *32nd DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, 2021, pp. 262–269.

5. **В. Вајић**, N. Suzic, N. Simeunovic, S. Moraca, and A. Rikalovic, "Toward Real-time Data

Analytics Application for Industry 4.0,” in *18th International Scientific Conference on Industrial Systems (IS'20)*, 2020, pp. 1–8.

6. **B. Bajic**, I. Cosic, B. Katalinic, S. Moraca, M. Lazarevic, and A. Rikalovic, “Edge Computing Vs. Cloud Computing: Challenges and Opportunities in Industry 4.0,” in *30th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, 2019, pp. 864–871.

7. Z. Radovanovic, A. Rikalovic, N. Ralevic, Z. Tesic, N. Simeunovic, and **B. Bajic**, “Fuzzy Expert System for Risk Assessment after Nipple-Sparing Mastectomy in Breast Cancer Patients,” *EUROCON 2019 - 18th Int. Conf. Smart Technol.*, 2019.

8. **B. Bajic**, I. Cosic, M. Lazarevic, N. Sremcevic, and A. Rikalovic, “Machine Learning Techniques for Smart Manufacturing: Applications and Challenges in Industry 4.0,” in *9th International Scientific and Expert Conference TEAM 2018*, 2018, pp. 29–38.

9. **B. Nikolic**, J. Ignjatic, N. Suzic, B. Stevanov, and A. Rikalovic, “Predictive Manufacturing Systems in Industry 4.0: Trends, Benefits and Challenges,” in *28th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, 2017, pp. 769–802.

• **саопштење са скупа од националног значаја штампано у целини (M63)**

10. **B. Bajić**, A. Rikalović, and S. Morača, “Challenges of Big Data Analytics in Industry 4.0,” in *SPIN'19 LIN transformacija i digitalizacija privrede Srbije*, 2019, pp. 20–27.

Комисија је закључила да садржај објављених радова показује да је тим радовима већ извршена делимична потврда резултата истраживања у научној и стручној јавности.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Прегледом докторске дисертације јасно се уочава да она садржи систематизовану истраживачку грађу, што је омогућило да се, уз примену одговарајуће методологије научног рада, изврши анализа података из свих расположивих релевантних извора (из научне и стручне литературе из области истраживања). На основу анализе и интерпретације свих расположивих података, развијен је оригиналан модел за рано откривање неусаглашености процесних параметара (РОНП) у производним системима и приступљено је његовој верификацији у индустријском окружењу. Према добијеним резултатима могу се извести следећи закључци:

1. Могуће је развити модел за рано откривање неусаглашености процесних параметара (РОНП) у производним системима. Концептуални РОНП модел представља хибридни модел базиран на употреби фази експертних система и метода напредне аналитике, чији је развој подељен у седан фаза: процена тренутног стања производног система, дефинисање проблема неусаглашености у производном систему, идентификација утицајних параметара и прикупљање података, припрема и обрада прикупљених података, развој математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара помоћу изабране групе података, тестирање математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара и валидација математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара. Резултати указују да концептуални РОНП модел пружа квалитативне описе помажући да се истакну све везе које постоје у производним условима процесне индустрије и да се на тај начин изврши унапређење производног система, односно производних процеса или квалитета производа.

2. Урађена је верификација РОНП модела експерименталном методом у индустријском окружењу. Верификација је подразумевала примену експерименталне методе за развој РОНП модела у одабраном производном систему процесне индустрије. Према развијеном моделу извршено је рано откривање неусаглашености процесних параметара, где су добијени резултати сваке фазе:

2.1. Прва фаза РОНП модела је показала да је одабрани производни систем подобан за спровођење наредних фаза модела на основу одређивања карактеристика производног система, функције циља и процене степена спремности производног система за развој РОНП модела.

2.2. У другој фази дефинисан је проблем неусаглашености процесних параметара који доводи до недовољно доброг квалитета производа у производном систему, на основу одређене врсте неусаглашености, локације њеног настанка и типа проблема неусаглашености у производном систему.

2.3. У трећој фази уследила је идентификација и прикупљање процесних података, на основу дефинисаних критеријума за идентификацију утицајних параметара, самој идентификацији, провери доступности и одређивању типа података утицајних параметара, где укупан број прикупљених података износи 1.960.200.

2.4. У четвртој фази приступило се детаљној припреми и обради прикупљених података и формирању прецизно одабраног скупа података спремног за развој математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара, где је број прикупљених података редукован на 1.140.600 података.

2.5. Приликом развоја математичког модела, као пете фазе РОНП модела, коришћене су две различите методе напредне аналитике са циљем објективног доношења одлуке која метода ће бити примењена у последњој седмој фази на основу компарације добијених резултата. С обзиром да прецизно одабрани скуп процесних података представља неизбалансиран скуп, примењивала се техника Махаланобис-Тагучи систем као напредна статистичка метода, док је за методу машинског учења коришћена еквивалентна техника Махаланобис-Тагучи техници, и то техника потпорних вектора за класификацију коришћењем неизбалансираног скупа података.

2.6. У шестој фази, тестирањем математичког модела је закључено да су перформансе развијеног модела применом Махаланобис-Тагучи технике надмашиле резултат добијен применом технике потпорних вектора за класификацију коришћењем неизбалансираног скупа.

2.7. На основу добијених резултата претходних фаза, у последњој, седмој фази валидације математичког РОНП модела се користио математички модел развијен применом Махаланобис-Тагучи технике. Валидација математичког модела је урађена у производном систему за производњу подних облога од винила, где је постигнута аутоматизована анализа процесних параметара у тренутку генерисања процесних података коришћењем индустријског рачунара заснованог на примени *Edge* система рачунарске технологије.

3. На основу добијених резултата током верификације може се закључити да развијени РОНП модел представља ефикасан алат за рано откривање неусаглашености процесних параметара који условљавају настанак производа лошег или недовољно доброг квалитета. Експерименталним доказивањем развијене методологије модела у производном систему је потврђена и његова флексибилност која се огледа у прилагођавању променама унутар производног процеса (нпр. увођење нових типова производа који спадају у релевантну групу производа).

4. С обзиром да је верификација РОНП модела рађена на основу инжењерског проблема, улазећи дубље у анализе дошло се до проблема појаве лажних аларма. Дискусијом о постигнутим резултатима са експертима из компаније, закључено је да су у систему, поред грешака у вези са квалитетом производа, присутне и системске грешке (односе се на оправдани настанак грешака квалитета производа). На основу тога се закључује да развијени математички модел није предвидео само проблеме са квалитетом производа већ и системске грешке, које су првобитно класификоване као лажни аларми, иако се односе на грешке квалитета настале током процеса конфигурације машина. Такође, развијени математички модел је детектовао и неусаглашености процесних параметара који доводе и до појаве производа лошег или недовољно доброг квалитета на другим машинама у оквиру

производне линије.

5. На основу експерименталног доказивања дошло се до закључка да је РОИП модел омогућио креирање сајбер-физичког окружења у посматраном производном систему где је извршено интегрисање производних машина, индустријског рачунара и PLC уређаја, као физичких компоненти система, и софтверских решења за аутоматизовану анализу процесних података и SCADA система, као виртуелних компоненти повезаних преко OPC UA протокола, као стандарда технологије Интернета ствари. Интегрисање је омогућено применом напредних технологија Индустије 4.0, као што су Интернет ствари, *Edge* систем рачунарске технологије и методе напредне аналитике. То даље имплицира да развијени РОИП модел представља иновативно и универзално решење које омогућава практичну примену концепта Индустије 4.0 у производним системима процесне индустрије.

Имајући у виду горе наведено, Комисија сматра да је кандидат Бојана Бајић успешно извршила планирана истраживања, урадила докторску дисертацију, остварила постављене циљеве и дала оригиналан научни допринос развоју теорије и праксе за унапређење производних система у области индустријског инжењерства и инжењерског менаџмента, као основног подручја истраживања.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

У складу са предложеним фазама развоја модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара у производним системима, одабране су истраживачке методе које обезбеђују систематичност, валидност, поузданост, објективност, тачност и поновљивост:

- Методе експертске анализе коришћене су у фазама развоја модела применом методе интервјуа са експертима из производног система, и то у:
 - Фази 1: Процена тренутног стања производног система,
 - Фази 2: Дефинисање проблема неусаглашености у производном систему, и
 - Фази 3: Идентификација утицајних параметара и прикупљање података.
- Аналитичке методе коришћене су у фазама развоја модела применом различитих математичких анализа, и то у:
 - Фази 4: Припрема и обрада прикупљених података и
 - Фази 5: Развој математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара помоћу изабране групе података.
- Метода експеримента је коришћена су у фазама развоја модела експериментално испитујући дефинисану проблематику на моделу, и то у:
 - Фази 6: Тестирање математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара у лабораторијским условима како би се проверили резултати развијеног модела,
 - Фази 7: Валидација математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара у индустријском окружењу како би се тестирале перформансе развијеног модела.

Комисија сматра да је избор наведених метода и начина њихове примене у потпуности прилагођен карактеру проблема који је у дисертацији решаван.

У истраживању је приказана верификација РОИП модела у индустријском окружењу. Верификација је спроведена експерименталном методом у производном систему за производњу подних облога од винила што је условило развој математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара на основу прикупљеног скупа процесних података генерисаних током производног процеса.

Један од допринос ове докторске дисертације се огледа и у експериментално спроведеној компаративној анализи користећи Махаланобис-Тагучи технику напредне статистике и, њој еквивалентну, технику потпорних вектора за класификацију коришћењем неизбалансираног скупа података, као технику машинског учења, где се обе погодне технике користе за развој математичког модела на основу неизбалансираног скупа података. Резултати компаративне анализе су показали да је Махаланобис-Тагучи техника напредне статистичке методе надмашила резултат тачности математичког модела базираног на техници машинског учења за 0,14%. Приликом тестирања математичког модела добијени резултат је потврдио анализу из претходне фазе. Односно, резултат тестирања је показао да је математички модел развијен применом Махаланобис-Тагучи технике опет надмашио перформансе математичког модела развијеног применом технике потпорних вектора за класификацију коришћењем неизбалансираног скупа података у виду тачности модела за 1,97%, али и код процене грешке и одзива модела. Једино где је математички модел развијен применом технике потпорних вектора за класификацију коришћењем неизбалансираног скупа података показао бољи резултат јесте код одређивања прецизности модела и то за 0,13% у односу на резултат добијен Махаланобис-Тагучи техником. Узимајући у обзир Ф1 меру, као меру избалансираности прецизности и одзива, доказано је да математички модел развијен применом Махаланобис-Тагучи технике дао бољи резултат за 1,01%. Стога је математички модел развијен применом Махаланобис-Тагучи технике изабран да буде валидиран у индустријском окружењу процесне индустрије.

Валидација математичког РОИП модела је урађена у индустријском окружењу посматраног производног система за дефинисану групу производа, где је циљ детекција недовољно доброг квалитета производа насталог на основу неусаглашености процесних параметара. Детекција је извршена одређивањем периода валидације у оквиру којег се пратио рад РОИП модела дана 19. јуна 2021, од 09:00 до 21:00 часа. У том периоду је праћено да ли су се јавила обавештења о преласку дефинисане границе развијеног математичког модела за рано откривање неусаглашености процесних параметара. Као резултат добијених обавештења врши се провера о насталим грешкама квалитета на одабраној групи производа у посматраном производном систему. Током дефинисаног периода валидације генерисани број података је износио 43.500 процесних података.

На основу резултата валидације је закључено да је постигнуто рано откривање неусаглашености процесних параметара у производном систему за производњу подних облог од винила као и аутоматизована анализа процесних параметара у тренутку генерисања процесних података.

Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања са закључком да је докторска дисертација оригинално дело кандидата Бојане Бајић.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме
Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе
Докторска дисертација својим насловом, садржајем, резултатима истраживања и начином тумачења тих резултата садржи све битне елементе који се захтевају за радове овакве врсте.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

<p>Разматрајући докторску дисертацију кандидата Бојане Бајић, Комисија је закључила да она представља оригиналан допринос у области индустријског инжењерства и инжењерског менаџмента. Развијени модел за рано откривање неусаглашености процесних параметара, дефинисање његових фаза, као и експериментално потврђивање развијене методологије представља научни допринос аутора у теорији и пракси унапређења производних система. Истраживањем су испуњени сви задати циљеви.</p> <p><i>Комисија закључује да докторска дисертација кандидата Бојане Бајић представља оригиналан допринос у области унапређења производних система.</i></p>
<p>4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања <i>Дисертација нема битних недостатака који би утицали на резултате истраживања.</i></p>
<p>X ПРЕДЛОГ:</p>
<p>На основу укупне оцене дисертације, Комисија констатује да укупни резултати изнети у докторској дисертацији Бојане Бајић под називом „Модел за рано откривање неусаглашености процесних параметара у производним системима“ у потпуности задовољава услове:</p>
<ul style="list-style-type: none"> - да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана - да се докторска дисертација враћа кандидату на дораду (да се допуни односно измени) или - да се докторска дисертација одбија

Место и датум: Нови Сад, 10.01.2022.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

1. **др Илија Ћосић**, професор емеритус,
Факултет техничких наука, Нови Сад

_____, председник
2. **др Дубравко Ћулибрк**, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад

_____, члан
3. **др Драгослав Словић**, редовни професор,
Факултет организационих наука, Београд

_____, члан
4. **др Слободан Морача**, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад

_____, члан
5. **др Александар Рикаловић**, ванредни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад

_____, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Trg Dositeja Obradovića 6
21000 Novi Sad, Republic of Serbia
Tel. + 381 21 6350 413; + 381 21 450 810; Fax: + 381 21 458 133
e-mail: ftndeans@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАѢМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



ПРИЛОГ УЗ ИЗВЕШТАЈ КОМИСИЈЕ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Услед немогућности да се изврши провера на плагијаризам у софтверу *iThenticate* у време када је написан извештај о оцени докторске дисертације под називом „Модел за рано откривање неусаглашености процесних параметара у производним системима“ кандидаткиње Бојане Бајић, провера је извршена када су се створили услови од стране Факултета техничких наука, односно дана 22.02.2022. године.

Место и датум: Нови Сад, 23.02.2022.

професор емеритус др Илија Ћосић
председник комисије