

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Срђана Јелинека**, бр. **2018/5007**

Одлуком Наставно-научног већа Факултета организационих наука 05-01 бр. 3/133-5 од 30.9.2022. године именовани смо за чланове Комисије за оцену завршене докторске дисертације кандидата **Срђана Јелинека** под насловом:

„Хибридни ИБА-ДЕ приступ за предвиђање кредитног рејтинга држава“

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Срђан (Либор) Јелинек је уписао докторске студије на Факултету организационих наука Универзитета у Београду 2018. године. Положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом са просечном оценом 10,00:

	<i>Предмет</i>	<i>Оцена</i>
1.	Нови трендови у операционим истраживањима	10
2.	Системи са дискретним догађајима	10
3.	Теорија игара	10
4.	Временска серија и фрактали - одабрана поглавља	10
5.	Динамички модели финансијских тржишта	10
6.	Неуронске мреже и системи - одабрана поглавља	10
7.	Оптимално управљање	10
8.	Теорија система - одабрана поглавља	10
9.	Фази логика и системи - одабрана поглавља	10

Након што је положио све испите, Срђан Јелинек је пријавио приступни рад за израду докторске дисертације 2021. године. На Наставно-научном Већу именована је Комисија за преглед и одбрану приступног рада и оцену научне заснованости пријављене докторске дисертације 14.7.2021. године, одлуком 05-01 бр. 3/78-8. Кандидат је приступни рад одбранио 30.9.2021. године. Одлука 05-01 бр. 3/143-5 о усвајању извештаја Комисије о научној заснованости пријављене докторске дисертације донета је 15.11.2021. Одлуком Универзитета у Београду 02 број 61206-4931/2-21 од 10.12.2021. дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Срђана Јелинека под називом „Хибридни ИБА-ДЕ приступ за предвиђање кредитног рејтинга држава“. На Наставно-научном већу Факултета организационих наука дана 30.9.2022. одлуком 05-01 бр. 3/133-5 одобрена је израда докторске дисертације, а за ментора именован је др Павле Милошевић, доцент Факултета организационих наука. Ментор је 15.9.2022. известио Наставно-научно веће Факултета организационих наука да је Срђан Јелинек завршио израду докторске дисертације. Научно-наставно веће Факултета организационих наука именовало је Комисију за оцену завршене докторске дисертације 30.9.2022, одлука 05-01 бр. 3/133-5, у саставу:

1. др Весна Богојевић-Арсич, редовни професор Универзитета у Београду, Факултет организационих наука
2. др Драгана Макајић-Николић, редовни професор Универзитета у Београду, Факултет организационих наука
3. др Ивана Драговић, ванредни професор Универзитета у Београду, Факултет организационих наука
4. др Александар Ракићевић, доцент Универзитета у Београду, Факултет организационих наука
5. др Ивана Мицић, ванредни професор Универзитета у Нишу, Природно-математички факултет

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „Хибридни ИБА-ДЕ приступ за предвиђање кредитног рејтинга држава“ по предмету истраживања припада научној области Техничких наука, подручје Организационих наука, односно ужој научној области Управљање системима и посебно области Рачунарска интелигенција.

Ментор, др Павле Милошевић, доцент, поседује одговарајуће компетенције за вођење докторске дисертације у виду објављених научних радова у водећим часописима, монографијама и зборницима конференција међународног и националног значаја из области којима се бави ова дисертација. Списак одабраних радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Milošević, P.**, Petrović, B., & Jeremić, V. (2017). IFS-IBA similarity measure in machine learning algorithms. *Expert Systems with Applications*, 89, 296-305. DOI:10.1016/j.eswa.2017.07.048 (IF2017: 3.768)
2. **Milošević, P.**, Petrović, B., Radojević, D., & Kovačević, D. (2014). A Software Tool for Uncertainty Modeling using Interpolative Boolean Algebra. *Knowledge-Based Systems*, 62, 1-10. DOI:10.1016/j.knosys.2014.01.019 (IF2014: 2.947)

3. **Milošević, P.**, Petrović, B., & Dragović, I. (2021). A novel approach to generalized intuitionistic fuzzy sets based on interpolative Boolean algebra. *Mathematics*, 9(17), 2115. DOI:10.3390/math9172115 (*IF2021: 2.592*)
4. **Milošević, P.**, Poledica, A., Rakićević, A., Dobrić, V., Petrović, B., & Radojević, D. (2018). IBA-based framework for modeling similarity. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 11(1), 206-218. DOI:10.2991/ijcis.11.1.16 (*IF2018: 2.153*)
5. Jelinek, S., **Milošević, P.**, Rakićević, A., Poledica A., & Petrović, B. (2022). A novel IBA-DE hybrid approach for modeling sovereign credit ratings. *Mathematics*, 10, 2679. DOI:10.3390/math10152679 (*IF2021: 2.592*)
6. Kovačević, D., Mladenović, N., Petrović, B., & **Milošević, P.** (2014). DE-VNS: Self-adaptive Differential Evolution with crossover neighborhood search for continuous global optimization. *Computers and Operations Research*, 52(part B), 157-169. DOI:10.1016/j.cor.2013.12.009 (*IF2014: 1.861*)
7. Dobrić, V., **Milošević, P.**, Rakićević, A., Petrović, B., & Poledica, A. (2017). Interpolative Boolean networks. *Complexity*, 2017, Article ID 2647164. DOI: 10.1155/2017/2647164 (*IF2017: 1.829*)
8. Poledica, A., **Milošević, P.**, Dragović, I., Petrović, B., & Radojević, D. (2015). Modeling consensus using logic-based similarity measures. *Soft Computing*, 19(11), 3209-3219. DOI:10.1007/s00500-014-1476-5 (*IF2015: 1.630*)
9. Vukićević, A., Đapan, M., Isailović, V., Milašinović, D., Savković, M., & **Milošević, P.** (2022). Generic compliance of industrial PPE by using deep learning techniques. *Safety Science*, 148, 105646. DOI:10.1016/j.ssci.2021.105646 (*IF2021: 6.392*)
10. Vojtek, N., Petrović, B., & **Milošević, P.** (2021). Decision Support System for Predicting the Number of No-Show Passengers in Airline Industry. *Tehnički vjesnik/Technical Gazette*, 28(1), 123-134. DOI:10.17559/TV-20191215144655 WOS:000636673200019 (*IF2021: 0.864*)

1.3. Биографски подаци о кандидату

Срђан Јелинек је рођен 17. децембра 1989. године у Београду. 2009. године је завршио Математичку гимназију у Београду, и исте године постаје студент Факултета организационих наука у Београду. Основне академске студије на смеру Информациони системи и технологије завршава у року, са просечном оценом 9,60. Дипломирао је на тему „Модели за вредновање опција“ са оценом 10.

Мајстер академске студије уписује 2013. године на Факултету организационих наука, студијски програм Електронско пословање и управљање системима, модул Управљање системима. Завршни мајстер рад на тему „Систем за анализу триангуларне арбитраже и валутних парова на међународном девизном тржишту“ је одбранио 2014. године и завршио мајстер академске студије са просечном оценом 10,00.

Друге мајстер академске студије уписује 2013. године на Економском факултету, студијски програм *International Masters in Quantitative Finance (IMQF)*. Завршни мајстер рад на тему „*CCC and DCC models for Value at Risk and Expected Shortfall estimation based on Extreme Value Theory*“ је одбранио 2015. године и завршио мајстер академске студије са

просечном оценом 9,20.

Школске 2018/2019. године уписао је докторске студије на Факултету организационих наука, на студијском програму Информациони системи и квантитативни менаџмент, изборно подручје Управљање системима. Положио је све испите предвиђене планом и програмом остваривши просечну оцену 10,00 и одбранио је приступни рад на докторским студијама.

Током зимског семестра школске 2012/13. године, као студент-демонстратор је учествовао у одржавању лабораторијских вежби на обавезном предмету Теорија система на Факултету организационих наука.

Од 15. августа 2015. Срђан Јелинек је запослен у компанији *FIS (Fidelity National Information Services)* као квантитативни аналитичар. Годину дана касније прелази на позицију квантитативни програмер, да би две године касније добио звање сениора на истој позицији.

Научно-истраживачке области којима се Срђан Јелинек бави су: квантитативне финансије, фази логика, хеуристичке методе оптимизације, неуронске мреже, анализа временских серија, итд. Објавио је више радова на научним скуповима и конференцијама у држави и иностранству, као и домаћим и страним научним часописима. Посебно се истиче рад објављен у индексираним часопису у категорији M21a. Током школовања је био стипендиран од стране Фонда за младе таленте.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Срђана Јелинека под насловом „Хибридни ИБА-ДЕ приступ за предвиђање кредитног рејтинга држава“ обима је 211 страна, разврстаних у 10 поглавља, укључујући списак коришћене литературе и прилоге. Дисертација садржи 21 слику, 89 табела и 338 библиографска извора. Структура дисертације је следећа:

1. УВОД

- 1.1. Проблем, предмет и циљ истраживања
- 1.2. Полазне хипотезе
- 1.3. Структура рада

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

- 2.1. Рачунарска интелигенција и машинско учење
- 2.2. Интерполативна Булова алгебра
- 2.3. Диференцијална еволуција

3. КРЕДИТНИ РЕЈТИНГ

- 3.1. Кредитни ризик
- 3.2. Појам и значај кредитног рејтинга
- 3.3. Предвиђање кредитног рејтинга
- 3.4. Транзициона матрица кредитних рејтинга

4. ИБА-ДЕ ПРИСТУП
 - 4.1. Трансформација улазних података
 - 4.2. Тренирање модела
 - 4.3. Тестирање модела
 - 4.4. Интерпретација резултата
5. ИБА-ДЕ МОДЕЛ ЗА ПРЕДВИЂАЊЕ КРЕДИТНОГ РЕЈТИНГА
 - 5.1. Улази и излази ИБА-ДЕ модела
 - 5.2. Једноаспектни модел
 - 5.3. Вишеаспектни модел
6. РЕЗУЛТАТИ ПРИМЕНЕ ИБА-ДЕ МОДЕЛА
 - 6.1. Оптимизација параметара
 - 6.2. Резултати тестирања
 - 6.3. Интерпретација резултата
 - 6.4. Компаративна анализа са неуронским мрежама и методом носећих вектора
7. МОДЕЛ ЗА ПРЕДВИЂАЊЕ ТРАНЗИЦИОНЕ МАТРИЦЕ ЗАСНОВАН НА ДЕ АЛГОРИТМУ
 - 7.1. Резултати предвиђања транзиционих матрица
8. ЗАКЉУЧАК
 - 8.1. Осврт на постављене хипотезе и остварене доприносе
 - 8.2. Могући правци будућег истраживања
9. ЛИТЕРАТУРА
10. ПРИЛОЗИ
 - 10.1. Табеле и резултати
 - 10.2. Псеудокодлови
 - 10.3. Листа држава коришћених у дисертацији
 - 10.4. Списак коришћенијих скраћеница
 - 10.5. Списак слика
 - 10.6. Списак табела

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Докторска дисертација „Хибридни ИБА-ДЕ приступ за предвиђање кредитног рејтинга држава“ је структурирана у 10 поглавља. Првих осам поглавља се односе на сам предмет истраживања, док последња два поглавља представљају списак литературе која је коришћена приликом израде дисертације и прилоге.

У **првом поглављу** су изложени проблем, предмет и циљ истраживања докторске дисертације. Даље, дефинисане су хипотезе овог рада – основна и помоћне. На крају је дата структура докторског рада по поглављима, са појашњењем шта је у ком поглављу обрађено.

У **другом поглављу** су дате теоријске основе метода и техника коришћених за израду ИБА-ДЕ приступа. Најпре су објашњене области рачунарске интелигенције и машинског

учења, основне технике, као и њихов значај. Потом су детаљно обрађени интерполативна Булова алгебра (ИБА) и алгоритам диференцијалне еволуције (ДЕ), који представљају основу ИБА-ДЕ приступа. У делу рада посвећеном ИБА, објашњени су структурни и вредносни ниво ИБА, као и две технике засноване на ИБА које су до сада најпримењиваније пракси: логичка агрегација и ИБА логичке мере сличности и различитости. У одељку посвећеном ДЕ, дата је дефиниција ДЕ алгоритма и објашњена су четири основна корака у његовој примени заједно са најчешћим варијацијама. Такође, дата је и детаљна анализа варијација ДЕ алгоритма, где је посебна пажња посвећена најкоришћенијим варијацијама у смислу мењања стратегије и контролних параметара. На крају поглавља изложени су хибриди ДЕ алгоритма са другим оптимizacionим методама.

У **трећем поглављу** је дефинисан и анализиран проблем предвиђања кредитног рејтинга. Најпре су изложени основни појмови и значај кредитног ризика и кредитног рејтинга. Након тога је дата детаљна анализа постојећих приступа за решавање дефинисаног проблема. Наиме, анализирани су традиционалне методе, односно стандардне економетријске методе за предвиђање кредитног рејтинга, са циљем уочавања њихових недостатака и ограничења. Упоредо са њима сумиране су и анализирани методе рачунарске интелигенције и машинског учења за предвиђање кредитног ризика, са нагласком на четири најкоришћеније методологије: неуронске мреже, фази логику, генетске алгоритме и методу подржаних вектора.

Четврто поглавље представља срж докторске дисертације будући да је у њему представљен нови ИБА-ДЕ приступ. Акцент је стављен на спој логичке агрегације дефинисане у ИБА оквиру и ДЕ алгоритма, као и на допринос појединих компоненти приступа механизму учења и интерпретацији резултата. Потом је детаљно објашњен предложени алгоритам који се састоји од четири корака: трансформације улазних података, тренирања модела, тестирања модела и интерпретације излаза и добијања коначних резултата. Посебна пажња је посвећена интерпретабилности модела, што је једно од горућих питања у машинском учењу.

У **петом поглављу** је приказана примена ИБА-ДЕ приступа на примеру предвиђања кредитног рејтинга држава. Објашњене су три групе од по четири индикатора које су одабране да служе као улази у систем, као и начин на који се категоријске вредности кредитних рејтинга мапирају у нумеричке вредности, погодне за коришћење у оквиру предложеног приступа. Потом су изложена два концепта самог модела, једноаспектни и вишеаспектни, заједно са њиховим карактеристикама, функцијама циља и начином на који се добијају предвиђени кредитни рејтинзи, односно њихове категоријске вредности.

У **шестом поглављу** су представљени резултати примене ИБА-ДЕ приступа у предвиђању кредитних рејтинга држава, као и њихов значај у односу на најчешће коришћене приступе из референтне литературе. У поглављу је анализиран утицај различитих вредности параметара ИБА-ДЕ модела и утврђено је за које вредности овај модел постиже најбоље резултате. Такође, представљени су резултати оптимизације параметара и елабориран је утицај одабира улазних варијабли на перформансе самог модела. На крају су добијени резултати упоређени са резултатима добијеним применом вештачких неуронских мрежа и методе носећих вектора. Компаративна анализа је извршена из угла перформанси, али и интерпретабилности ових приступа.

У **седмом поглављу** је предложена примена ДЕ алгоритма за предвиђање транзиционе матрице кредитних рејтинга са нагласком на могућности његовог прилагођавања

различитим проблемима и типовима података. Предложени модел је валидиран над истим скупом података као и ИБА-ДЕ приступ. Добијене транзиционе матрице су упоређене са јавно доступним транзиционим матрицама од стране кредитних агенција.

Осмо поглавље се бави закључним разматрањима и даје критички осврт на предности и ограничења предложених приступа. Посебна пажња је посвећена простору за даљи рад кроз унапређење предложених модела и превазилажења уочених ограничења. Након тога је изложена аргументација за прихватање постављених хипотеза.

На крају рада, у **деветом и десетом поглављу**, таксативно је наведена литература коришћена током израде дисертације, као и табеларни приказ добијених резултата, листа држава коришћених у експерименту и спискови коришћенијих скраћеница, слика и табела.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Хибридни ИБА-ДЕ приступ за предвиђање кредитног рејтинга држава“ кандидата Срђана Јелинека бави се увођењем ИБА-ДЕ хибридног приступа и његовом применом на проблем предвиђања кредитног рејтинга. Изложена тема је веома актуелна у оквиру финансија и рачунарске интелигенције. У прилог савремености предмета дисертације говори и велики број недавно објављених књига и научних радова у часописима и на међународним конференцијама посвећених предвиђању кредитног рејтинга и практичним аспектима ИБА и ДЕ.

Докторска дисертација критички анализира постојеће приступе и методологије машинског учења и рачунарске интелигенције у предвиђању кредитног рејтинга и на основу прегледа стања у досадашњим истраживањима уочава потребу за увођењем ИБА-ДЕ хибридног приступа који се потом користи за предвиђање кредитног рејтинга. Добијени резултати се пореде са резултатима друге две методологије машинског учења: неуронским мрежама и методом носећих вектора.

Оригиналност у приступу решавања проблема и добијених резултата у оквиру ове докторске дисертације потврђују и радови који су публиковани и саопштени на научним скуповима или објављени у домаћим и међународним часописима.

Стога, предложени приступи, превазилазе уочене недостатке постојећих, савремени су и оригинални, а резултати описани у дисертацији имају научни и практични значај.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидат Срђан Јелинек је у изради докторске дисертације „Хибридни ИБА-ДЕ приступ за предвиђање кредитног рејтинга држава“ користио преко 330 извора релевантних за обраду ове теме. Ова референтна литература углавном се односи на монографије, књиге, докторске дисертације, радове са међународних научних конференција, а нарочито на научне радове из најцитиранијих часописа. Велики број коришћених извора публикован је на конференцијама и часописима из наведених области од стране водећих светских издавача (*Elsevier, Springer, IEEE, Wiley*).

Посебна пажња је посвећена публикацијама које дају теоријску основу предложеног приступа, а пре свега се односе на технике машинског учења и рачунарске интелигенције са нагласком на диференцијалну еволуцију и интерполативну Булову алгебру. Такође, детаљно је анализирана литература која се односи примену ових техника на предвиђању кредитних рејтинга, са акцентом на библиографске изворе публиковане у последњих 5 година. Стога, закључује се да је кандидат приликом израде дисертације користио најзначајнију референтну и актуелну литературу. Списак коришћене литературе дат је у деветом поглављу, где је литература наведена по абecedном редоследу.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Током израде ове дисертације коришћене су опште научне методе анализе, синтезе, индукције, дедукције, генерализације, као и метода моделовања. У почетним поглављима дисертације, у којима се даје предглед постојећег стања у области, коришћене су методе прикупљања и библиометријске анализе постојећих приступа. За њихову систематизацију коришћена је метода поређења, односно дат је критички осврт на постојеће приступе предвиђању кредитних рејтинга засноване на машинском учењу и рачунарској интелигенцији, као и детекција и анализа њихових мањкавости, ограничења и јасних недостатака.

Предложени ИБА-ДЕ приступ развијен је применом метода теорије система и рачунарске интелигенције. Коришћена литература, односно многобројни референтни извори, указују на адекватан истраживачки приступ кандидата. Експериментална анализа примењена је за евалуацију предложених приступа на проблему предвиђања кредитног рејтинга и естимације транзиционих матрица, док је упоредна анализа резултата извршена при поређењу добијених резултата са другим приступима машинског учења.

Анализирајући докторску дисертацију у целости, а на основу наведеног, закључује се да су примењене научне методе и технике апсолутно адекватне и одговарају по значају, структури и примени теми докторске дисертације и представљеном истраживању.

3.4. Примењивост остварених резултата

Будући да се у ИБА-ДЕ приступу интерполативна Булова алгебра и диференцијална еволуција користе у оригиналном облику, предложени приступи задржавају одабрана математичка својства ИБА и стандардног ДЕ алгорита. Овај приступ представља директан одговор на примењене недостатке хибридних модела као и алгорита диференцијалне еволуције, како са теоријског, тако и са становишта примене. Даље, у предложеном приступу операције базиране на ИБА се могу реализовати на различите начине у зависности од избора оператора који ће имати улогу генерализованог производа. Овако опште дефинисан приступ омогућује прилагођавање модела проблему који се решава.

Стога, предложени приступи и добијени резултати представљени у овој дисертацији могу бити корисни различитим интересним странама. Најпре, резултати могу бити корисни финансијским и другим пословним аналитичарима. Имајући у виду да кредитне агенције не дају своју методологију рачунања кредитних рејтинга, а да је предложени ИБА-ДЕ приступ интепретабилан, он може бити основа за детаљну финансијску анализу. Затим,

результати могу бити корисни појединачним или групним улагачима, који на основу добијених резултата могу да боље процене када, како и у шта инвестирати.

Предложени модел машинског учења се може применити у готово свим областима у којима су до сада коришћене класичне методологије рачунарске интелигенције и машинског учења. Стога, предложени модели и добијени резултати могу бити корисни широј академској заједници који се баве применом метода и техника рачунарске интелигенције у финансијама, како као основа за поређење резултата, тако и као инспирација за даље истраживање у овој области. Коначно, предложени ИБА-ДЕ приступ се може користити у решавању проблема регресије и за интерпретације резултата независно од области проблема.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације и научно-истраживачког рада на Факултету, кандидат Срђан Јелинек показао је способност да самостално обавља научни рад и решава научне проблеме. Током докторских студија кандидат је стекао различита знања и искуства из области теорије система, рачунарске интелигенције, хеуристичких метода оптимизације, динамичких модела финансијских тржишта, анализе временских серија, итд. Кандидат поседује потребна стручна теоријска и практична знања за самосталан научни рад што је, осим у процесу израде ове докторске дисертације, показао и објављивањем радова у међународним и националним часописима и на конференцијама.

У раду кандидат је дао преглед стања у области која је предмет докторске дисертације, а затим је сопственим истраживањем и експерименталном провером приступа потврдио постављене хипотезе.

Узимајући у обзир квалитет урађене докторске дисертације и целокупан досадашњи истраживачки рад кандидата, Комисија сматра да кандидат Срђан Јелинек поседује потребне способности, вештине и искуства за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати истраживачког процеса у докторској дисертацији „Хибридни ИБА-ДЕ приступ за предвиђање кредитног рејтинга држава“ кандидата Срђана Јелинека садрже следеће научне доприносе:

- Преглед и систематизација постојећих методологија предвиђања кредитног рејтинга – у докторској дисертацији је јасно приказано стање у области кроз преглед радова који су се бавили решавањем проблема предвиђања и оцене кредитног рејтинга помоћу традиционалних економетријских метода, као и помоћу метода рачунарске интелигенције и машинског учења;
- Анализа и критички осврт на постојеће методологије предвиђања кредитног рејтинга држава са нагласком на методе рачунарске интелигенције и машинског учења – у докторској дисертацији дат је осврт на ограничења и недостатке

постојећих методологија које се користе у пракси, као и оних анализираних у литератури;

- Коришћење алгоритма диференцијалне еволуције у развоју модела за предвиђање кредитног рејтинга држава – ДЕ алгоритам је коришћен као оптимизациони алгоритам са циљем обучавања, односно проналажења оптималне функције псеудо логичке агрегације у ИБА оквиру, на основу које би се предвиђали будући рејтинзи;
- Коришћење ИБА за моделовање података и интерпретацију резултата на проблему предвиђања кредитног рејтинга – ИБА оквир је коришћен најпре како би се улазни подаци представили у атомском облику, а затим, по добијању оптималне функције псеудо-логичке агрегације, и за тумачење значаја појединачних фактора у моделу;
- Развој и примена новог хибридног ИБА-ДЕ модела за предвиђање кредитног рејтинга држава – у докторској дисертацији нови ИБА-ДЕ приступ је детаљно представљен, кључни кораци у раду алгоритма су елаборирани и дат је псеудокод. Предложени приступ је примењен на проблем предвиђања кредитног рејтинга и дао је боље резултата из угла перформанси и интерпретабилности у односу на вештачке неуронске мреже и методу носећих вектора. Даље, представљени модел је први који на основу података одређује оптималну функцију псеудо-логичке агрегације у ИБА оквиру, и на тај начин користи могућности ИБА у потпуности;
- Развој методологије за моделовање транзиционе матрице кредитних рејтинга засноване на алгоритму диференцијалне еволуције – представљен је приступ моделовања транзиционих матрица помоћу диференцијалне еволуције и добијени су обећавајући резултати. Приступ је још увек у развоју и предложена су различита могућа унапређења;
- Друштвени допринос се огледа у могућности примене предложеног ИБА-ДЕ приступа на различите реалне проблеме, како из области финансија, тако и у другим сферама;

На основу изложеног, може се закључити да добијени резултати докторске дисертације представљају научни допринос у односу на постојеће стање и отварају простор за даља истраживања.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Докторска дисертација садржи целовит приказ области на којима почива предложени ИБА-ДЕ приступ. Прегледом литературе у области предвиђања кредитних рејтинга коришћењем класичних економетријских метода, као и метода машинског учења и рачунарске интелигенције, утврђени су недостаци ових приступа попут непружања информација о резултатима и непоказивања јасно бољих перформанси у односу на остале методологије. Такође, систематизовани су резултати на пољу примене диференцијалне еволуције и интерполативне Булове алгебре и истакнуте су њихове применљивости.

У ИБА-ДЕ приступу ИБА је коришћена за трансформацију улазних података и тумачење резултата док се ДЕ користи за добијање оптималног логичког ИБА израза за предвиђање. За потребе евалуације ИБА-ДЕ приступа, предложени приступ је примењен на проблем предвиђања кредитних рејтинга држава. Показано је да предложени ИБА-ДЕ приступ на овом проблему даје боље резултате него неуронске мреже и метода носећих вектора.

Поред тога, предност ИБА-ДЕ приступа у односу на постојеће приступе се огледа и у пружању информација о корелацији улаза са излазом, што даље омогућава кориснику квалитетнију интерпретацију резултата при доношењу одлука.

Остварени резултати истраживања испуњавају захтеве за квалитет докторске дисертације. Све постављене хипотезе су верификоване кроз теоријска разматрања и проверене експериментално, чиме је остварен значајан допринос у предметној области.

Сагледавањем постављених хипотеза, циљева истраживања и остварених резултата, констатујемо да је кандидат успешно одговорио на сва релевантна питања за решавање проблема истраживања.

4.3. Верификација научних доприноса

Срђан Јелинек је, у сарадњи са другим ауторима, објавио више научних радова у међународним и националним часописима, и зборницима радова међународних и националних конференција, а који су у директној или индиректној вези са темом ове докторске дисертације.

Радови у међународним часописима изузетних вредности (M21a):

1. **Jelinek, S.**, Milošević, P., Rakićević, A., Poledica, A., Petrović, B. (2022). A Novel IBA-DE Hybrid Approach for Modeling Sovereign Credit Ratings. *Mathematics*, 10(15). DOI:10.3390/math10152679 (IF2021: 2.592)

Радови саопштени на скупу међународног значаја штампани у целини (M33):

1. **Jelinek, S.**, Milošević, P., Rakićević, A., & Petrović, B. (2022). Forecasting Sovereign Credit Ratings Using Differential Evolution and Logic Aggregation in IBA Framework. In C. Kahraman, S. Cebi, S. Cevik Onar, B. Oztaysi, A. C. Tolga & I. U. Sari (Eds.), *Intelligent and Fuzzy Techniques for Emerging Conditions and Digital Transformation. Proceedings of the INFUS 2021 Conference*. Lecture Notes in Networks and Systems 308 (pp. 506-513). Berlin: Springer. DOI:10.1007/978-3-030-85577-2_60
2. **Jelinek, S.**, Poledica, A., Petrović, B., & Milošević, P. (2019). Forecasting Cryptocurrency Time Series Using Fuzzy Transform, Fourier Transform and Fuzzy Inference System. In M. Stepnicka (Ed.), *Proceedings of the 2019 Conference of European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT 2019)* (pp. 634-640). Amsterdam: Atlantis Press. DOI:10.2991/eusflat-19.2019.88
3. Jovović, A., **Jelinek, S.**, & Rakićević, A. (2014). Sovereign credit rating prediction using fuzzy logic. In A. Marković & S. Barjaktarović Rakočević (Eds.), *Proceedings of the XIV International Symposium SymOrg 2014: New Business Models and Sustainable Competitiveness* (pp. 597-604). Belgrade: Faculty of Organizational Sciences.

Радови у часописима националног значаја (M53):

1. **Jelinek, S.**, Rakićević, A., & Milošević, P. (2018). Sistem za analizu i simulaciju triangularnih arbitražnih strategija na međunarodnom deviznom tržištu. *Info M*, 65, 31-39.

2. Milošević, P., **Jelinek, S.**, Rakićević, A., & Poledica, A. (2018). Primena neuronskih mreža i metode nosećih vektora za identifikaciju lica. *Info M*, 66, 20-25.

Радови саопштени на скупу националног значаја штампани у целини (M63):

1. **Jelinek, S.**, Makajić-Nikolić, D., & Milošević, P. (2021). Sovereign credit rating transition matrix estimation using differential evolution. In D. Urošević, M. Dražić & Z. Stanimirović (Eds.), *SYM-OP-IS 2021 XLVIII International Symposium on Operational Research Conference Proceedings (Zbornik radova)* (pp. 105-110), Beograd: Matematički fakultet.
2. Milošević, P., **Jelinek, S.**, Rakićević, A., & Poledica, A. (2018). Model za identifikaciju lica zasnovan na tehnikama mašinskog učenja. In *Zbornik radova Infotech 2018 - ICT conference and exhibition*.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације „Хибридни ИБА-ДЕ приступ за предвиђање кредитног рејтинга држава“ кандидата Срђана Јелинека, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је она написана према свим стандардима научно-истраживачког рада. Такође, ова докторска дисертација испуњава све услове прописане Законом о високом образовању, стандардима, правилницима и Статутом Факултета организационих наука и Универзитета у Београду.

На основу актуелности теме докторске дисертације, приказаних резултата и изведених закључака, Комисија констатује да је кандидат Срђан Јелинек успешно завршио докторску дисертацију, у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања. Кандидат је успешно реализовао истраживање и дошао до оригиналних научних закључака, што је верификовано кроз публикавање рада у истакнутом међународном часопису са импакт фактором, као и у националним часописима и на међународним и националним конференцијама.

Кандидат Срђан Јелинек је у докторској дисертацији увео нови приступ: ИБА-ДЕ приступ, настао хибридизацијом интерполативне Булове алгебре и диференцијалне еволуције. Приказао је да предложени приступ има жељена својства која се огледају у бољим перформансама у односу на друге тестиране методе машинског учења и рачунарске интелигенције, као и способности интерпретације добијених резултата. ИБА-ДЕ приступ је евалуиран на примеру предвиђања кредитних рејтинга држава.

Комисија закључује да је садржајем дисертације обухваћено значајно подручје истраживања, како са теоријског аспекта, тако и са аспекта применљивости резултата. Кандидат је самостално урадио рад и дао допринос научном сазнању из области Техничко-технолошких наука, ужој научној области Управљање системима и посебно области Рачунарска интелигенција.

Уважавајући актуелност теме дисертације, сложеност решаваног истраживачког проблема, оригиналност изложених резултата и адекватност коришћене научне методологије, констатује се да ова докторска дисертација задовољава све потребне научне критеријуме и показује способност кандидата Срђана Јелинека за самосталан научно-истраживачки рад.

На основу свега претходно наведеног, Комисија предлаже Научно-наставном већу Факултета организационих наука да се докторска дисертација под називом „**ХИБРИДНИ ИБА-ДЕ ПРИСТУП ЗА ПРЕДВИЂАЊЕ КРЕДИТНОГ РЕЈТИНГА ДРЖАВА**“ кандидата **Срђана Јелинека** прихвати, изложи на увид јавности и, потом, упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање.

У Београду, 15.12.2022. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Весна Богојевић-Арсич, редовни професор
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

.....
др Драгана Макајић-Николић, редовни професор
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

.....
др Ивана Драговић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

.....
др Александар Ракићевић, доцент
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

.....
др Ивана Мицић, ванредни професор
Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет