

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Рударско-геолошки факултет

Наставно-научном већу

Предмет: Извештај о оцени докторске дисертације кандидата Стевана Ђенадић, маг. инж. рударства и маг. инж. машинства

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета бр. 1/128 од 30.06.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Стевана Ђенадић маг. инж. рударства и маг. инж. рударства, под насловом:

РАЗВОЈ СИНТЕЗНОГ МОДЕЛА УПРАВЉАЊА РИЗИКОМ КОД РОТОРНИХ БАГЕРА

Након прегледа докторске дисертације, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1 Обим дисертације

Докторска дисертација садржи 99 страна рачунарски обрађеног текста (од Увода па закључно са Литературним изворима), 9 почетних страна (насловна страна и сажетак на српском и енглеском језику, садржај и списак слика и табела), 15 страна прилога и 4 завршних страна (биографија аутора и изјаве о ауторству). Укупан број страна дисертације је 127 и све су А4 формата. У дисертацији је садржано:

- 46 табела у текстуалном делу и 7 табела у прилогу дисертације;
- 45 слика и дијаграма у текстуалном делу дисертације;
- 5 прилога различитог облика (анкетни листови, табеле са подацима и датотеке са кодовима); и
- 139 литературних извора коришћених у дисертацији.

1.2 Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Стеван Ђенадић, мастер инжењер рударства и мастер инжењер машинства је пријавио тему докторске дисертације под насловом „Развој синтезног модела управљања ризиком код роторних багера“, на Рударско-геолошком факултету, Универзитета у Београду, 03.09.2021. године (пријава број 1/233).

На основу пријаве теме докторске дисертације, Катедра за механизацију рудника предложила је Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, покретање поступка за именовање Комисије за оцену научне заснованости докторске дисертације кандидата (пријава број 1/237).

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду број 1/277 од 21.09.2021. године именована је Комисија у саставу: проф. др Предраг Јованчић, дипломирани инжењер рударства, проф. др Милош Танасијевић, дипломирани инжењер рударства, проф. др Драган Игњатовић, дипломирани инжењер рударства, проф. др Владимир Милисављевић, дипломирани инжењер рударства, сви са Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и проф. др Угљеша Бугарић, дипломирани инжењер машинства са Машинског факултета, Универзитета у Београду.

Кандидат је пред формираном Комисијом, 19.10.2021. године обранио приступни рад под поменутиим насловом (записник број 1/368), након чега је Комисија саставила извештај о научној заснованости теме докторске дисертације (извештај број 1/365).

На основу извештаја који је Комисија саставила, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 25.11.2021. године, донело је одлуку број 1/462 којом се усваја извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Стевана Ђенадића, мастер инжењера рударства и мастер инжењера машинства и одобрава израда докторске дисертације по насловом „Развој синтетног модела управљања ризиком код роторних багера“, а за менторе именују проф. др Предрага Јованчића, редовног професора и проф. др Милош Танасијевић, редовног професора.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 10.12.2021. године донело је одлуку број 1/484 од 20.12.2021. године којом се даје сагласност на предлог теме кандидата Стевана Ђенадића, под насловом „Развој синтетног модела управљања ризиком код роторних багера“ и потврђује менторство проф. др Предрагу Јованчићу и проф. др Милошу Танасијевићу.

Кандидат Стеван Ђенадић, мастер инжењер рударства и мастер инжењер машинства је 14.06.2022. године поднео молбу број 1/111 за именовање Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом „Развој синтетног модела управљања ризиком код роторних багера“. Уз молбу кандидат је поднео сагласног метора за предају урађене докторске дисертације (број 1/112). Катедра за механизацију рудника је упутила допис број 1/119 од 14.06.2022. године Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду са предлогом Комисије за оцену докторске дисертације у саставу: проф. др Драган Игњатовић, дипломирани инжењер рударства, проф. др Владимир Милисављевић, дипломирани инжењер рударства, сви са Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и проф. др Угљеша Бугарић, дипломирани инжењер машинства са Машинског факултета, Универзитета у Београду.

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 30.06.2022. године донело је одлуку број 1/128 којом се потврђује предлог матичне Катедре и именује Комисија за оцену докторске дисертације, чиме су испуњени услови за писање предметног Извештај о урађеној докторској дисертацији.

1.3 Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација кандидата Стевана Ђенадића, мастер инжењера рударства и мастер инжењера машинства, припада научној области „Рударско инжењерство“, односно ужој научној области „Механизација у рударству и енергетици“ за коју је матичан Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.

Именована су два ментора за вођење кандидата при изради ове докторске дисертације:

- Проф. др Предраг Јованчић, редовни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, аутор великог броја научних радова из области механизације у рударству и енергетици, систематског приступа одржавања техничких система, математичких модела евалуације и избора и сл. Према референтном извору *Scopus* аутор или коаутор је на 31 раду, *h-index*: 8, при чему је цитираност радова 188.
- Проф. др Милош Танасијевић, редовни професори Рударско- геолошког факултета Универзитета у Београду, аутор великог броја научних радова из области системског приступу одржавања рударских машина и развоја математичких и концепцијских модела из области експертних система, пре свега фази логичког закључивања. Према референтном извору *Scopus* аутор или коаутор је на 33 рада, *h-index*: 9, при чему је цитираност радова 283.

Компетентност именованих ментора за вођење кандидата, оправдана је ауторством великог броја научних радова објављених у референтним међународним и домаћим часописима, као и у зборницима међународних и националних конференција и саветовања.

1.4 Биографски подаци о кандидату

Кандидат Стеван Ђенадић, мастер инжењера рударства и мастер инжењера машинства, рођен је 28.07.1993. године у Лазаревцу, општина Београд, Република Србија. Завршио је основну школу „Дуле Караклајић“ и гимназију у Лазаревцу, природно-математички смер.

Основне академске студије на Универзитету у Београду, Рударско-геолошком факултету, уписао је 2013. године на смеру Рударско инжењерство. Основне студије завршио је у року на Модулу Површинска експлоатација лежишта минералних сировина, 2017. године са просечном оценом 9,48 (девет и 48/100). Завршни рад под називом „Примена и прорачун трошкова рада дозера на површинским коповима РБ Колубара“ одбранио је у септембру 2017. године са оценом 10. Тиме је стекао звање дипломирани инжењер рударства.

Мастер академске студије на Универзитету у Београду, Рударско-геолошком факултету, уписао је 2017. године на смеру Рударско инжењерство, модул Механизација у рударству. Наредне, 2018. године завршио је мастер академске студије са просечном оценом 10,00 (десет, 00/100). Завршни рад под називом „Методологија оцењивања оперативно-експлоатационих параметара дозера за рад на површинским коповима“ одбранио је са оценом 10. Тиме је стекао звање мастер инжењер рударства.

У октобру 2018. године, уписао је Докторске академске студије на Универзитету у Београду, Рударско-геолошком факултету, на студијском програму Рударско инжењерство. Положио је све испите са просечном оценом 10,00 (десет, 00/100).

Године 2019. уписао је Мастер академске студије на Универзитету у Нишу, Машински факултет на студијском програму Машинске конструкције, развој и инжењеринг. У фебруару 2021. године одбранивши завршни рад под називом „Пројекат унапређења управљања рударском опремом“ оценом 10, завршио је мастер академске студије. Просечна оцена студирања била је 9,22 (девет и 22/100). Кандидат је тиме стекао и звање мастер инжењер машинства.

Током основних и мастер студија на Универзитету у Београду, био је стипендиста Републике Србије и града Лазаревца. Награђен је од стране пословног удружења Електромашинградња за квалитетно урађен академски пројекат на Међународном сајму Енергетике у Београду. За постигнут успех током студирања, награђен је као најбољи студент мастер студија на Рударско-геолошком факултету. Током студирања је присуствовао највећем међународном сајму рударске опреме *MineExpo - Las Vegas 2016*. године и учествовао у два интерактивна предавања са тематиком савремених метода површинске и подземне експлоатације минералних сировина.

Од децембра 2018. године запослен је на Универзитету у Београду, на Рударско-геолошком факултету као асистент за ужу научну област „Механизација у рударству и енергетици“, на Катедри за Механизацију рудника. Учествује у припреми за одржавање наставе и у извођењу вежби из предмета: Рударске машине; Машины за површинску експлоатацију; Одржавање рударских машина; Машины за помоћне радове на површинским коповима; и Машины за транспорт на површинским коповима.

Кандидат је учествовао у програмима сарадње са другим Универзитетима у Европи, као што су:

- Програм *DIM ESSE 2019 – CEEPUS Mobility grant* у Дубровнику (Хрватска) у организацији Универзитета у Загребу, Рударско-геолошко-нафтног факултета;
- Програм *Summer Mining School* у организацији *EIT RawMaterials Hub* и *Regional Center Kosice (17253 KAVA project)* у Банској Стиавници (Словачка);
- Програм у организацији *Erasmus+ / KA1* и *Montanuniversitaet Leoben* под називом *Mobility Agreement, Staff Mobility for Teaching* (A LEOBEN01), у Леобену (Аустрија).

Учесник је пројекта ТР 035040 под називом „Развој савремених метода дијагностике испитивања машинских конструкција“ који се реализује при Министарству за науку и технолошки развој Републике Србије. Стручни испит за обављање стручних послова при експлоатацији минералних сировина, прописан Законом о рударству за инжењера рударства, положио је у фебруару 2021. године.

Од 2019. године члан је Савеза инжењера рударства и геологије Србије, док је од 2020. године члан (*junior member*) организације *SOMP (Society of Mining Professors)*.

Коаутор је уџбеника „Машины и помоћни радови на површинским коповима“. Као аутор и коаутор кандидат Стеван Ђенадић је у протеклом периоду објавио 31 рад и то: 7 радова у научним часописима међународног значаја (два рада категорије М21а, три категорије М22 и два рада из категорије М23); 2 рада у часописима националног значаја (М52); 15 радова у зборницима међународних научних скупова (М33); и 7 саопштења са скупова националног значаја (М63). Објављени радови су према референтном извору *Scopus* цитирани 16 пута (h-индекс је 2), док су према извору *Google Scholar* цитирани 46 пута (h-индекс је 4). Поред наставног и научног рада, кандидат је учествовао у изради неколико студија, пројеката и техничких контроли.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Стевана Ђенадића написана је на латиничном писму и садржи следећа основна поглавља:

1. Увод
2. Анализа досадашњих истраживања
3. Предмет анализе
4. Теоријске основе метода
5. Развој фази експертског модела процене ризика
6. Фази експертски модел процене ризика код роторног багера
7. Анализа резултата и дискусија
8. Апликативни и визуелни облик модела
9. Закључак

Поред тога, докторска дисертација садржи и Сажетак на српском и енглеском језику, Садржај, Списак слика, Списак табела, Литературу, Прилоге, Биографију, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу. Поглавља од 1 до 7 садрже више подпоглавља.

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

Докторска дисертација је структурирана сходно предмету и циљевима истраживања и примењеној методологији истраживања.

Прво поглавље (стр. 1-5) представља увод у проблематику и садржи основне поставке докторске дисертације. Приказан је значај роторних багера у површинској експлоатацији лигнита, дате су основне поставке и недостаци постојећих метода процена ризика. Дат је преглед предложеног иновативног синтезног модела за процену ризика. Ово поглавље садржи и образложење предмета анализе, постављених циљева и доприноса дисертације. Поред тога приказане су и полазне научне хипотезе и структура докторске дисертације.

Друго поглавље (стр. 6-14) садржи литературни преглед досадашњих истраживања везаних за предмет и методе анализе у дисертацији. Поглавље садржи 4 тематске целине (подпоглавља) структуриране у складу са предметом и циљевима анализе. Прва целина разматра конструктивне и структуре проблеме који су анализирани код роторних багера. Дати су примери догађаја са повећаним ризиком на роторним багерима широм света. У другој целини су приказане постојеће основне методе процене ризика (FMESA и FMEA), историјат развоја тих метода и наведени су примери употребе код рударских машина. Трећа целина указује на примере формираних хибридних модификација метода процене ризика. Указује се да је највећи број измена извршен употребом фази логике, вишекритеријумских метода, метода симулације и предикције. Последња целина садржи примере могућег имплементирања концепта управљања животним веком и одржавања према ризику у различитим областима индустрије.

Треће поглавље (стр. 15-27) садржи преглед и дефиниције основних појмова везаних за предмет анализе. Поглавље садржи 4 тематске целине (подпоглавља). У првој целини је дефинисан ризик и сви појмови везани за ризик као сегмент управљања имовином. Дат је детаљан опис традиционалних метода процена ризика и начина израчунавања. Наведени су и сви недостаци приступа израчунавања ризика на које указују различити аутори. У другој целини се дефинише употребни квалитет и сви појмови који за рад роторних багера (сигурност функционисања, поузданост, расположивост, отказ и сл.). Наредна целина садржи приказ роторних багера. У овом делу је објашњена улога роторних багера, њихова класификације, елементи, принцип рада и функционално-конструктивна декомпозиција. Последња целина овог поглавља приказује основне поставке различитих стратегија одржавања техничких система.

Четврто поглавље (стр. 28-43) садржи теоријске основе метода коришћених код синтезног модела процене ризика који се предлаже. Три тематске целине (подпоглавља) су формиране у овом делу. Први део дефинише све значајне појмове фази логике. Објашњени су основни појмови, фази број, лингвистичке променљиве, фази пропозиција, фазификација, фази релације, фази композиција и методе дефазификације. У другом делу овог поглавља приказане су основне теоријске поставке вишекритеријумских метода. Дате су области примене, класификација метода, предности и недостаци а потом се акценат ставља на објашњена везана за методе које ће се користити (АНР и TOPSIS). Последњи део овог поглавља дефинише различите приступе у статистичкој обради узорака података. Приказане су различите теоријске расподеле, тестирање хипотеза о расподели, а потом је објашњена експоненцијална расподела.

Пето поглавље (стр. 44-54) представља алгоритам иновативног синтезног модела процене ризика који се предлаже у докторској дисертацији. Дат је след активности модела у коме се анализирају две форме ризика односно, ризик по структурну стабилност багера (ризик од хаварије) и ризик по прекид производног процеса (ризик од застоја). Модел је алгоритамски подељен у три дела (модула), чиме се формирају три подпоглавља у овом делу. У првом се дефинишу парцијални индикатори, улазни подаци за модел, начин обраде података и међусобно рангирање (отежавање) индикатора ризика АНР методом. Други део садржи фази експертни модел израчунавања ризика. У овом делу је објашњена фази пропозиција, фазификација улазних података, композиција (TOPSIS метода) модела као основа фази закључивања и идентификација резултата у облик интензитета ризика. Последњи део садржи објашњење начина дефазификације вредности у један број, стандардну девијацију као меру дисперзије и начин приказа резултате кроз различите референтне скале.

Шесто поглавље (стр. 55-76) се надовезује на претходно јер садржи студију случаја тестирања и верификације претходно дефинисаног модела. На основу две форме ризика које се анализирају, конципирана су и два подпоглавља. Прво подпоглавље представља ризик од хаварије где је дат репрезентативан поступан след калкулације. Анализом је обухваћено осам слабих места на роторном багеру SRs2000. Улазни подаци добијају се експертским оцењивањем које је приказано, док је ток прорачуна и приказ резултата у складу са приказаним у петом поглављу. Друго подпоглавље садржи анализу ризика од застоја при чему је анализа спроведена на нивоу читавог багера SRs2000. Користе се измењени парцијални индикатори ризика и комбиновани подаци у виду остварених времена рада и застоја машине и експертске оцене могућности детекције застоја. Као и у првом делу прорачун и приказ резултата прати дефинисан ток из петог поглавља.

У седмом поглављу (стр. 77-85) је анализа резултата који су добијени и дискусија. Поглавље је конципирано у складу са циљевима анализе па се састоји из 3 подпоглавља. У првом делу је анализа резултата за обе форме ризика који су анализирани. У другом је извршена упоредна анализа са сличним методама композиције, како би се извршило поређење дисперзије резултата. Трећи део садржи препоруке за унапређења стратегија одржавања на принципу одржавања према ризику. На крају сваког подпоглавља дат је преглед доприноса који су остварени.

Осмо поглавље (стр. 86-88) садржи приказ дизајниране софтверске и апликативне форме и визуелног облика синтезног модела који се предлаже у дисертацији. Дато је објашњење начина дизајнирања, садржаја кодова и принципа рада модела кроз програмски језик и оквир за визуелизацију.

Закључна разматрања приказана су у деветом поглављу (стр. 89-90). Дат је осврт на концепцију модела, предности које су остварене и конкретне резултате из студије случаја.

Литературни извори који су коришћени у дисертацији приказани су у наставку. Након тога су прилози који садрже: анкетне листове, табеле о забележеном раду роторних багера и датотеке са кодовима за софтверску апликативну форму и визуелни приказ модела.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација кандидата Стевана Ђенадић, мастер инжењера рударства и мастер инжењера машинства под насловом „Развој синтезног модела управљања ризиком код роторних багера“ је савремен и оригиналан истраживачки рад на формирању модела за процену ризика који ће умањити утицај недостатака у постојећим методама анализе ризика.

Анализе и праћење ризика од великог је значаја посебно код комплексних техничких система. Роторни багери као комплексни технички системи, су машине које су у континуалном раду на дневном нивоу у све три смене. Последице догађаја могу да угрозе животе и здравље људи, да угрозе структурну стабилност машине или да створе озбиљне кварове са дугим застојима у раду. Сваки застој у раду, посебно узрокован озбиљним кваром ствара веома високе директне и индиректне трошкове. Посебно су изражене индиректне последице (трошкови) јер долази до губитака у производњи која је планирана.

Основне методе процене ризика базирају на дефинисаним FMECA и FMEA методама. Принцип је истоветан код обе методе и базира на израчунавању перформансе ризика кумулативним множењем три парцијална индикатора (вероватноће појављивања, озбиљности последица и могућности детекције) који се претходно експертски вреднују. Овакав приступ доста је оспораван и присутан је велики број недостатака. Многи аутори сматрају и да је превазиђен. Наиме, код оваквог приступа основни недостаци су концентрисани ка: субјективности, предвидљивости исхода, нелинеарности скале резултата, истоветности значаја сва три парцијална индикатора. Поред тога, код метода за израчунавање ризика није анализирана дисперзија добијених резултата, што је изузетно значајно за феномене као што је ризик. На основу свих недостатака постављен је циљ у формирању модела алгоритамске структуре који ће умањити утицај недостатака традиционалног приступа анализи ризика.

Истраживање у оквиру ове докторске дисертације засновано је на формирању модела који треба да испуне четири основна циља: смање субјективност и предвидљивост исхода, створе могућност истог или различитог вредновања елемената ризика, смање дисперзију вредности резултата и размотре имплементирање система одржавања према ризику. Кандидат је у дисертацији развио свеобухватни синтетски фази експертни модел који доприноси унапређењу управљања ризиком код роторних багера. Формирани модел анализиран је кроз постављене циљеве при чему су приказани остварени доприноси. На основу комплексности ризика, кандидат је анализирао две форме ризика, и то ризик од хаварије и ризик од застоја.

Полазне хипотезе у истраживању у оквиру докторске дисертације, кандидат је засновао на научној и стручној литератури и инжењерској пракси. Систематским прегледом литературних извора, формиран су бенефити који се могу остварити иновативним моделом управљања ризиком, посебно код техничких система као што су роторни багери.

Истраживањима у докторској дисертацији су сагледани актуелни приступи и проблеми у управљању ризиком. На основу тога је формиран иновативни математичко-концепцијски модел за управљање ризиком код роторних багера. Све претходно наведено потврђује да су испуњени критеријуми савремености и оригиналности докторске дисертације.

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма „*iThenticate*“ којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „*Развој синтетског модела управљања ризиком код роторних багера*“, кандидата Стевана Ђенадића, мастер инжењера рударства и мастер инжењера машинства, констатујемо да је према првобитном добијеном извештају утврђено укупно подударање текста износило 10%. Овај степен подударности последица је случајних подударања које садрже и: називе институција, називе метода на енглеском језику и њихових скраћеница, случајних подударања нумеричких података, библиографских података о коришћеној литератури, и сл., што је у складу са чланом 9. Правилника. Приступом ментора у софтверску платформу „*iThenticate*“ који је након филтрирања препознатих преклапања на приказ текста са већим или једнаким преклапањем од 1%, уочено је да је добијено укупно преклапање 1%. Имајући у виду да је кандидат током писања докторске дисертације узео у обзир све академске норме у погледу навођења и цитирања литерарних извора, Комисија сматра да докторска дисертација представља у потпуности резултат оригиналног научно-истраживачког рада кандидата.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

При изради докторске дисертације, коришћена литература обухвата 137 литературне јединице које се односе на: ризик у површинској и подземној експлоатацији минералних сировина; проблеме код роторних багера узроковане догађајима са израженим последицама; примењене традиционалне приступе у рачунању ризика у рударству; иновативне приступе у рачунању ризика; одржавање према ризику; стандарде који дефинишу ризик и методе којима се израчунава ризик; недостатке у традиционалном приступу рачунања ризика; употребни квалитета; сигурност функционисања; расположивост; поузданост; отказ; роторне багере; класификације роторних багера; стратегије одржавања рударских машина; фази логику и методе које се примењују за пропозицију, фазификацију, композицију, идентификацију и дефазификацију;

вишекритеријумске методе а посебно методе АНП и TOPSIS; статистичку обраду података; теоријске законитости података; тестирања расподела; и др.

Кандидат Стеван Ђенадић, мастер инжењер рударства и мастер инжењер машинства је током свог истраживачког рада и израде докторске дисертације објавио више радова из предметне области. На основу тога се може потврдити да је упознао и проучио значајан део релевантне литературе која се односи на: рударску механизацију, анализе ризика, употребни квалитет, управљање животним веком техничких система и примењену методологију у докторској дисертацији.

3.3 Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

Научне методе примењене у овој дисертацији су адекватне проблематици која се истражује и анализира, као и постављеном предмету и циљевима анализе у смислу истраживања елемената ризика и њихове систематизације; развоју алгоритамске структуре са вишеслојним оцењивањем; приступу експертског оцењивања и/или обради постојећих података о раду; дефинисању значајности индикатора у укупном ризика; развоју математичко-концепцијске композиције модела израчунавања ризика; формирању резултата у виду интензитета ризика, коначне вредности, приказу вредности на различитим скалама и приказу дисперзије резултата; коришћењу индиректног предиктивног карактера анализа ризика за формирање даљих смерница. Сходно томе, у докторској дисертацији су примењене следеће научне и истраживачке методе:

- Анализа постојеће научне и стручне литературе која се односи на: конструктивне и структурне проблеме код роторних багера; постојеће основне методе процене ризика; интеграцију вештачке интелигенције, фази експертних система, вишекритеријумских метода и метода симулације у формирању „хибридних“ модела процена ризика; концепте управљања животним веком и одржавања на основу ризика.
- Анализе историјата хаваријских догађаја код роторних багера за формирање слабих места у процени ризика од хаварије;
- Статистичке обраде података о раду и застоју роторних багера уз претходно тестирање теоријске законитости расподеле података;
- Фази експертне системе који подразумевају: пропозицију фази скупова, фазификацију лингвистичких улаза, фази композицију (фази закључивање) за формирање исхода, односно идентификацију и дефазификацију ради обликовања резултата;
- Вишекритеријумске методе и то: АНП методу ради дефинисања значајности индикатора на укупни ризик; и TOPSIS методу као композицију фази закључивања.

Методе истраживања су савремене, комплементарне и заједно формирају заокружен алгоритам системског приступа управљања ризиком код роторних багера. Примена метода у дисертацији заснована је и на коришћењу савремених рачунарских програмских алата и софтверских оквира чиме је формиран апликативни и визуелни облик модела.

3.4 Оцена примењивости и верификација остварених резултата

Резултати истраживачког рада у оквиру докторске дисертације кандидата Стевана Ђенадић могу се применити у научном смислу у области системског приступа управљању ризиком. Доприноси који су остварени овим истраживањем могу имати практичну примену у процесима анализе и процене ризика рударске механизације и других техничких система, процени тренутног стања и преосталих могућности, формирању оптималног приступа одржавању на основу дефинисаних слабих места и приоритета у активностима.

Анализа резултата на основу процене ризика код роторног багера извршена је на форми ризика од хаварије и форми ризика од застоја. Према првој форми дефинишу се: слаба места, приказује интензитет ризика, рангирају слаба места као приоритети у одржавању, приказује дисперзија, резултати исказују на различите референтне скале и дају препоруке за унапређења приступа одржавања. Код друге анализе (форме) посматра се читав багер, резултати се исказују на исти начин, а анализом се добијају информације и о тренутном стању и преосталим могућностима багера.

3.5 Оцена способности кандидата за самосталан научни рад

Кандидат Стеван Ђенадић, мастер инжењер рударства и мастер инжењер машинства, је током израде ове докторске дисертације показао да поседује потребне способности и вештине за самосталан научно-истраживачки рад. Формирање синтезног модела управљања ризиком код роторних багера и анализа резултата, захтева изражену аналитичност у раду и систематичност у приступу решавању проблема. Кандидат је на основу вишегодишњег рада и искуства у овој и сличним областима, стекао способност да при изради докторске дисертације у потпуности реализује планирано истраживање од почетне идеје до испуњавања постављених циљева дисертације. Докторску дисертацију је кандидат концизно и садржајно презентовао кроз све сегменте модела, процеса и резултата у истраживању.

Сходно оствареним резултатима у научном и истраживачком раду, може се констатовати да је кандидат Стеван Ђенадић у сваком погледу испунио услове који га квалификују да буде способан за даљи самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОСТ

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Тема докторске дисертације је актуелна а научни допринос се огледа у формирању иновативног синтезног модела управљања ризиком код комплексних техничких система какви су роторни багери. Модел је конципиран тако да има алгоритамску и хибридную структуру и базира се на фази логици и експертним системима где су имплементиране две вишекритеријумске методе. Анализа је спроведена на роторним багерима при чему су посматране две форме ризика: од хаварија и од застој. Полазне хипотезе у дисертацији постављене су у складу са жељеним циљем да се недостаци постојећих приступа израчунавања превазиђу односно сведу на најмању могућу меру.

На основу свега претходно поменутог, остварен је научни допринос у области:

- систематизације, анализе и оптимизације постојећих индикатора ризика и приступа израчунавању ризика;
- системских наука - имплементирањем теорије поузданости, расположивости и инжењерства одржавања техничких система у алгоритамску структуру модел;
- теорије фази логике, и то у сегментима:
 - фази пропозиције – формирањем фази скупова са лингвистичким описом и мером интензитета ризика;
 - фазификације – мапирањем улазних података лингвистичког или нумеричког облика у облик функције припадности;
 - фази композиције – дефинисањем композиције као фази закључивања која формира резултате (исходе) са најмањом дисперзијом;
 - фази идентификације – превођењем исхода композиције модела у нумерички и лингвистички облик интензитета ризика;
 - дефазификације – свођењем резултата на једну нумеричке вредности која може бити у складу са различитим скалама ризика;
- теорије одлучивања у смислу дефинисања и рангирања слабих места техничког система на основу чега се постиже рекурзивност модела кроз повратне информације о стању и потребама одржавања система. Резултати тога се дефинишу растом или падом употребног квалитета;
- управљање имовином што се постиже дефинисањем тренутног стања и преосталих могућности техничког система (роторног багера);
- апликативности кроз формирање модела у програмском језику и софтверском оквиру, чиме се постижу једноставније, брже и прецизније анализе ризика.

Овако конципиран научно-истраживачки рад има научну оправданост и може представљати значајан научни и инжењерски допринос. Резултати рада могу бити примењени за даљи развој и унапређење:

- системском приступу управљању рударском механизацијом као имовином;
- управљања ризиком код различитих облика техничких система или процеса;
- инжењерству одржавања техничких система;
- решавању других инжењерских проблема код којих преовлађује неодређеност, вишезначност и субјективност при експертском вредновању;
- апликативној и софтверској подршци у анализама и праћењима различитих система, процеса или феномена.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

На основу спроведеног истраживања, уважавајући постојеће традиционалне приступе рачунања ризика, измењене методе (приступе) рачунања ризика, у докторској дисертацији је формиран и представљен иновативни синтетички модел управљања ризиком код роторних багера. Модел је формиран као унапређен приступ управљања ризиком као комплексним феноменом. Сви недостаци досадашњих модела процене ризика, усмеравали су истраживања ка дефинисању модела који ће унапредити постојећи приступ.

Основни недостаци лоцирани су у: субјективности, предвидљивости исхода, мањку континуалности скале резултата, осетљивости, једнакој значајности елемената ризика, недовољном приступу анализе дисперзије резултата и недовољној рекурзивности са одржавањем. Дакле, основна и полазна усмерења (циљеви) истраживања у дисертацији су: дефинисање алгорита процене и анализе и ризика; и унапређењу система одржавања

Иновативни приступ управљања ризиком урађен је за два феномена, односно ризик по структурну стабилност багера (ризик од хаварије) и ризик по прекид производног процеса багера (ризик од застоја). Алгоритам модела код оба феномена садржан је у три модула.

i. Први модул (дефинисање улазних параметара и обрада података) садржи:

- Дефинисање слабих места за ризик од хаварије, у односу на историјат догађаја и критичност елемената у конструктивној композицији багера (издвојено је 8 слабих места). За ризик од застоја се анализа спроводи на нивоу читавог багера на основу временске слике стања;
- Формирање парцијалних индикатора ризика. Код ризик од хаварије они задржани у основном облику, а то су: вероватноћа појављивања (О), озбиљност последица (С) и могућност детекције (Д). Код ризика од застоја измењена су прва два индикатора, па се користе: расположивост (А), време застоја (Т) и могућност детекције (Д);
- Међусобно рангирање утицаја парцијалних индикатора на укупни ризик, за чију је евалуацију коришћена АНР метода;
- Формирање улазних података за ризик од хаварије експертским оцењивањем у лингвистичком облику. За ризик од застоја улазни подаци индикатора (Д) се добијају на исти начин, док су за (А) и (Т) нумеричког облика и добијају се статистичком обрадом;

ii. Други модул (израчунавање ризика) садржи:

- Пропозицију фази модела која је дефинисана са 5 фази скупова одговарајућих лингвистичких променљивих које описују ниво ризика парцијалних индикатора;
- Фазификацију улазних података лингвистичког и нумеричког облика на фази скупове дефинисане пропозицијом модела;
- Композицију фазификованих вредности, где се фази закључивање у циљу дефинисања исхода постиже применом TOPSIS метода која је за референтну вредност узима најбољу вредност из понуђеног сета, при чему су разматране само вредности различите од нуле;
- Идентификацију исхода који се мапирају на интензитет ризика са одговарајућим описом и нумеричком расподелом;

iii. Трећи модул (приказ резултата) садржи:

- Поступак дефазификације резултата у једну нумеричку вредност која постаје међусобно упоредива. Вредности се пондеришу и на различите скале где су референтне вредности метода FMECA, FMEA и матрице ризика;
- Стандардну девијацију као меру дисперзије израчунатих резултата и по потреби анализу у односу на друге методе примењене у овој области;
- Препоруке за унапређење одржавања у складу са резултатима анализе ризика свих слабих места за ризик од хаварије. Дефинисање побољшања поступака одржавања на основу резултата анализе ризика од застоја ради унапређења тренутног стања и преосталих могућности багера.

Иновативни синтетни модел приказао је да је субјективност смањена употребом лингвистичких описа у оцењивању и конкретних нумеричких вредности о раду багера, при чему је тежиште померено претходним рангирањем парцијалних индикатора. Методом центра маса у дефазификацији добија се могућност мапирања резултата на различите скале које су при томе континуалне, односно резултати могу да буду све вредности (од најмање до највеће) референтне скале. Резултати мере дисперзије код оба модела су верификовани упоредном анализом са моделима који садрже друге најчешће коришћене фази композиције. Са истим улазним подацима, примењени су модели са *min-max* и *max-min* композицијама ради компаративне анализе. Резултати иновативног модела су показали мањи ниво дисперзије, односно иновативни модел је прецизнији.

На основу прегледа докторске дисертације и увида у полазне хипотезе, постављене циљеве истраживања, коришћену релевантну литературу и сагледавања научних истраживања и области докторске дисертације, Комисија констатује да је кандидат у потпуности спровео планирано истраживање и реализовао постављене циљеве пријавом докторске дисертације. Добијени резултати су оригинални и примењиви у пракси.

Констатује се да би примене презентованог концепта управљања ризиком у овој докторској дисертацији унапредила процес управљања роторним багерима и другом опремом и процесима на површинским коповима лигнита. На тај начин би се остварило унапређење у превенцији нежељених догађаја и бољем искоришћењу система експлоатације. Треба нагласити и да је развијени алгоритам у потпуности флексибилан и адаптиван, па се може прилагодити и применити на различите техничке системе и процесе у индустрији. Апликативни и визуелни облик модела помаже у бржој и једноставнијој анализи ризика.

4.3 Верификација научних доприноса

Научни допринос из области истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације је верификован објављивањем рада у Научном часопису међународног значаја (M20) на коме је кандидат првопотписани аутор.

Категорија M21a – Рад штампан у међународном часопису изузетних вредности

Djenadic, S., Tanasijevic, M., Jovancic, P., Ignjatovic, D., Petrovic, D. & Bugaric, U. (2022). Risk Evaluation: Brief Review and Innovation Model Based on Fuzzy Logic and MCDM. *Mathematics*, 10(5), 811. doi: 10.3390/math10050811; **IF: 2.258**; Cited by 2.

Током израде докторске дисертације, кандидат је презентовао и објавио више радова из предметне области као првопотписани аутор или коаутор у Научним часописима међународног значаја (M20), Зборницима радова међународних научних скупова (M30), Часописима националног значаја (M50) и Зборницима скупова националног значаја (M60). На тај начин је кандидат верификовао своје научне доприносе, примењену методологију и остварене резултате. У наставку је дат приказ резултата који верификују рад кандидата из предметне области.

Категорија M21a – Рад штампан у међународном часопису изузетних вредности

Savkovic, S., Jovancic, P., **Djenadic, S.,** Tanasijevic, M. & Miletic, F. (2022). Development of the hybrid MCDM model for evaluating and selecting bucket wheel excavators for the modernization process. *Expert System with Application*, 201, 117199; doi: 10.1016/j.eswa.2022.117199. **IF:6.954**

Категорија M22 – Рад штампан у истакнутом међународном часопису

Djenadic, S., Ignjatovic, D., Tanasijevic, M., Bugaric, U., Jankovic, I., & Subaranovic, T. (2019). Development of the Availability Concept by Using Fuzzy Theory with AHP Correction, a Case Study: Bulldozers in the Open-Pit Lignite Mine. *Energies*, 12(21), 4044. doi: 10.3390/en12214044; **IF: 2.702**, Cited by 11.

Категорија M33 – Саопштење са међународног скупа штампано у целини

Jovančić, P., Ignjatović, D., **Đenadić, S.**, Miletić, F., Todorović, G., & Novaković, D. (2020). *Izbor rotornog bagera za proces revitalizacije: primer rotornih bagera SRs1200 u rudarskom basenu Kolubara*. Zbornik radova, XIV Međunarodna konferencija OMC 2020, Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju, Zlatibor, 14-17. oktobar, 9-17. ISBN 978-86-83497-27-0;

Djenadic, S., Jovancic, P., Ignjatovic, D., Tanasijevic, M., & Miletic, F. (2021). *Effectiveness analysis of different bucket-wheel excavators*. In 8th International Conference Mining and Environmental Protection, Sokobanja, 22-25. September, 239-248. ISBN 978-86-7352-382-9.

Jovančić, P., Ignjatović, D., & **Đenadić, S.** (2021). *Ostvarivanje dobiti pri uvođenju sistema agregatnih zamena na osnovnoj rudarskoj mehanizaciji površinskih kopova EPS*. X Međunarodna konferencija Ugalj 2021, Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju, Zlatibor, 13-16 oktobar, 25-34. ISBN 978-86-83497-28-7.

Категорија M52 - Рад у истакнутом часопису националног значаја

Đenadić, S., Jovančić, P., Ignjatović, D., Miletić, F., & Janković, I. (2019). Analiza primene višekriterijumskih metoda u optimizaciji izbora hidrauličnih bagera na površinskim kopovima uglja. *Tehnika*, 3, 369-377. doi: 10.5937/tehnika1903369D;

Категорија M63 - Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу

Jovančić, P., **Đenadić, S.**, Todorović, G., Novaković, D., & Miletić, F. (2020). *Strateško odlučivanje pri izboru novih rotornih bagera za površinske kopove lignita: primer rudarskog basena Kolubara*. Zbornik radova, XI Simpozijum sa međunarodnim učešćem „Rudarstvo 2020“, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina i Privredna komora Srbije, Vrnjačka Banja, 8-11. septembar, s. 15-24. ISBN 978-86-82867-28-9;

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација „Развој синтезног модела управљања ризиком код роторних багера“ кандидата Стевана Ђенадић, мастер инжењера рударства и мастер инжењера машинства, поседује савремен, оригиналан и научно утемељен приступ у управљању ризиком. Докторском дисертацијом су доказане полазне хипотезе, развијен системски математичко-концепцијски модел за процену ризика разматраног техничког система и на бази постављеног алгоритма, тестиран је конкретан технички објекат – роторни багер. Модел се заснива на примени експертних система и фази логике чиме се добија хибридни карактер и потпуна адаптивност и флексибилност у примени. У циљу повећања прецизности имплементирани су методе виšekriterijumског одлучивања. Ризик је дефинисан као синтезни индикатор, а структура композиције са минимизацијом преференција парцијалних индикатора обезбеђује већу прецизност синтезног модела.

На основу прегледа докторске дисертације, Комисија за оцену докторске дисертације закључује да докторска дисертација кандидата Стевана Ђенадић под насловом: „**Развој синтетног модела управљања ризиком код роторних багера**“ испуњава све законске услове за јавну одбрану. Комисија закључује да је докторска дисертација урађена према свим стандардима о научно-истраживачком раду и да испуњава све услове прописане Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, Статутом Рударско-геолошког факултета и прописаних критеријума Универзитета у Београду. Комисија констатује да докторска дисертација има значајну научну вредност.

На основу горе наведеног, Комисија за оцену докторске дисертације предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „**Развој синтетног модела управљања ризиком код роторних багера**“ кандидата Стевана Ђенадић, прихвати изложи на јавни увид јавности и даље у складу са процедуром упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, након чега би се приступило јавној одбрани докторске дисертације пред комисијом у истом саставу.

У Београду, 07.07.2022.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Драган Игњатовић, редовни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

др Угљеша Бугарић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Владимир Милисављевић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет