

УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ  
РУДАРСКИ ФАКУЛТЕТ



ИЗВЈЕШТАЈ  
*о оцјени урађене докторске дисертације*

І ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

На основу члана 71. став 7 тачка б) Закона о високом образовању (Службени гласник Републике Српске, број 73/10, 104/, 84/12, 108/13, 44/15, 90/16, 31/18 и 26/19) те члана 54. Статута Универзитета у Бањој Луци, Наставно-научно вијеће Рударског факултета је на својој 76. редовној сједници одржаној 13.09.2019. године, донијело Одлуку о именовању Комисије за оцјену урађене докторске дисертације под називом „Моделирање гравитацијске концентрације угља примјеном fuzzy логике“ кандидата mr. sc. Рузмира Авдића. Комисија је именована у слједећем саставу:

1. др Зоран Штирбановић, доцент, ужа научна област „Припрема минералних сировина”, Технички факултет Бор, Универзитет у Београду - предсједник,
2. др Владимира Малбашић, ванредни професор, ужа научна област „Површинска експлоатација минералних сировина”, Рударски факултет Пријedor, Универзитет у Бањој Луци, члан
3. др Аднан Хоцић, ванредни професор, ужа научна област „Рударска и бушотинска експлоатација минералних сировина”, Рударско-геолошко-грађевински факултет Тузла, Универзитет у Тузли, члан.

За ментора је именован др Игор Мильановић, редовни професор, ужа научна област „Рачунарство и системско инжењерство“, Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду.

- 1) Навести датум и орган који је именовао комисију;
- 2) Навести састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, научно-наставног звања, назива у же научне области за коју је изабран у звање и назива универзитета/факултета/института на којем је члан комисије запослен.

## II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Рузмир (Мухарем) Авдић
2. 10. 09. 1976. године, Тузла, Босна и Херцеговина
3. Универзитет у Тузли, Рударско-геолошко-грађевински факултет, Постдипломски студиј, Магистар техничких наука из подручја рударства
4. Рударско-геолошко-грађевински факултет у Тузли, „Улога технолошког процеса оплемењивања угља на сепарацији РМУ 'Ђурђевик' у ланцу онечишћивача сливног подручја ријеке Спрече”, УНО Припрема минералних сировина, 24. 12. 2010. године
5. Припрема минералних сировина
6. Докторска дисертација, према Закону о универзитету Републике Српске, пријављена је на Рударском факултету у Приједору 2013. године, на студијском програму Рударство
7. Кандидат је аутор 7 научних радова објављених у релевантним стручним и научним часописима. За најновије је прибављена и потврда да се ради о оригиналним научним радовима из научне области "Припрема минералних сировина" и да су прошли рецензију релевантних стручњака из поменуте научне области.
  1. Omerović N., Miljanović I., Avdić R., 2013. *Optimization of grinding eruptive aggregates using methods of multi-criteria analysis*, Proceedings of XVI Balkan mineral processing congress, Belgrade, Serbia
  2. Omerović N., Miljanović I., Avdić R., 2013. *Resolving optimization problems of preparation eruptive aggregates using programing driven by events*, Proceedings of XVI Balkan mineral processing congress, Belgrade, Serbia
  3. Омеровић Н., Авдић Р., Алић Н., 2012. *Анализа техничко-технолошких параметара секундарне ударно-ротационе дробилице при преради камена кречњака*, Рударски радови 3/2012, стр. 267-276
  4. Mašić S., Avdić R., Alić N., Mandžić E., Mašić G., 2011. *Claroline system for management of learning and it's implication in the teaching of mineral dressing and transport*, Proceedings of the XIV Balkan Mineral Processing Congress, Tuzla, pages 879-886
  5. Šišić I., Alić N., Avdić R., 2011. *Possitioning the fragmentation device by using PEEC matrix selection method*, Proceedings of the XIV Balkan Mineral Processing Congress, Tuzla, pages 117-124
  6. Машић С., Алић Н., Авдић Р., 2011. *Анализа онечишћења ријеке Гостеље отпадним водама РМУ „Ђурђевик“*, Зборник радова Друге регионалне конференције „Заштита животне средине у енергетици, рударству и индустрији“, Златибор, Србија
  7. Петровић М., Гутић С., Авдић Р., 2009. *Еколошки аспекти третмана технолошких вода у постројењу за оплемењивање угља РМУ Бановићи*, Научно-стручни скуп са међународним учешћем "Заштита и здравље на раду"

и заштита животне средине", Бања Лука, стр 383-393

- 1) Име, име једног родитеља, презиме;
- 2) Датум рођења, општина, држава;
- 3) Назив универзитета и факултета и назив студијског програма академских студија II циклуса, односно послиједипломских магистарских студија и стечено стручно/научно звање;
- 4) Факултет, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране магистарског рада;
- 5) Научна област из које је стечено научно звање магистра наука/академско звање мастера;
- 6) Година уписа на докторске студије и назив студијског програма.

### III УВОДНИ ДИО ОЦЛЕНЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

- 1) Наслов докторске дисертације је „Моделирање гравитацијске концентрације угља примјеном Fuzzy логике“
- 2) Тема докторске дисертације прихваћена је одлуком Наставно - научног вијећа Рударског факултета број 21/3.362/13 од 17.09.2013. године и Сената Универзитета У Бањој Луци број 02/04-3453-67/13 од 24. 10. 2013. године.
- 3) Докторска дисертација организована је кроз 8 поглавља са приказаним одјељцима и нумерацијом страна. Првих 15 страна рада чине странице прописане Правилником о садржају, изгледу и дигиталном репозиторијуму докторских дисертација на универзитету у Бањој Луци (насловна на нашем и енглеском језику, странице са подацима о кандидату, теми и ментору, резиме, садржај, те спискови слика и скраћеница).

1. Увод .....	16
1.1 Предмет и значај истраживања .....	16
1.2 Научни допринос истраживања .....	18
1.3 Научни циљеви истраживања .....	18
1.4 Преглед истраживања .....	19
1.5 Актуелност истраживања .....	20
1.6 Методологија истраживања.....	20
2. Технологије чишћења угља гравитацијском концентрацијом .....	22
2.1 Угаль-енергетски извор прошлости, садашњости и будућности .....	23
2.2 Класификација поступака чишћења угља .....	36
2.3 Принципи гравитацијске концентрације угља .....	40
2.4 Чишћење угља у машинама таложницама .....	48
2.5 Теоријски концепти таложења зрна у машинама таложницама .....	52
2.6 Параметри рада машина таложница .....	58
2.7 Врсте и типови машина таложница за угаль .....	61
3. Анализа ефикасности процеса чишћења угља .....	69
3.1 Анализа могућности чишћења угља .....	69
3.2 Контрола оштрине одвајања угља .....	74

4.	Моделирање и симулација рада машина таложнице за угља.....	76
4.1	Класификација модела машина таложнице .....	82
5.	Моделирање машина таложнице примјеном fuzzy логике.....	92
5.1	Fuzzy закључивање .....	98
5.2	Fuzzy логика у управљању и моделирању .....	101
5.3	Fuzzy моделирање таложнице .....	109
6.	Fuzzy модел постројења за чишћење угља у машинама таложницама.....	112
6.1	Анализа технолошког процеса на постројењу за сепарацију угља у Бановићима .....	112
6.2	Квантитативни и квалитативни параметри рада постројења .....	117
6.3	Развој моделске процедуре .....	121
6.4	Резултати моделирања и дискусија .....	129
7.	Закључци и правци даљих истраживања .....	136
8.	Литература .....	137
4)	Докторска дисертација написана је на 150 страница А4 формата, садржи 27 табела и 67 илустрација (слика, шема и графика). Цитирано је 265 литературних извора (штампаних и електронских издања) и 4 интернет извора. Поглавља дисертације су: Увод, Технологије чишћења угља гравитацијском концентрацијом, Анализа ефикасности процеса чишћења угља, Моделирање и симулација рада машина таложнице за угља, Моделирање машина таложнице примјеном fuzzy логике, Fuzzy модел постројења за чишћење угља у машинама таложницама, Закључци и правци даљих истраживања и Литература.	

- 1) Наслов докторске дисертације;
- 2) Вријеме и орган који је прихватио тему докторске дисертације
- 3) Садржај докторске дисертације са страничењем;
- 4) Истаћи основне податке о докторској дисертацији: обим, број табела, слика, шема, графика, број цитираних  
литературе и навести поглавља.

#### IV УВОД И ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

##### **Разлози због којих су подузета истраживања и циљ истраживања**

Рад постројења за гравитацијску концентрацију угља у флуиду вода, односно чишћење угља у машинама таложницама, подразумијева сложене функционалне зависности између улазних и излазних параметара односно промјењивих. Употреба савремених рачунарских система за управљање овако сложеним процесима и постројењима доприноси унапређењу продуктивности, стабилности, поузданости и цјеновној конкурентности поменутих система. Водећи циљ система аутоматског управљања је обезбеђивање правовремених информација и могућност предузимања ефикасних и брзих управљачких дејстава како би се осигурао безбедан и стабилан рад постројења упркос дјеловању спољашњих и унутрашњих чинилаца

који утичу на ефикасно одвијање процеса. Како би системи аутоматског управљања испунили ове циљеве, пред њих се поставља услов извршавања низа функција које се могу условно подијелити у двије категорије: основне и напредне функције (процесна анализа, оптимизација и детекција грешака).

У претходном периоду, концептуална и примијењена fuzzy логика преко fuzzy логичких система закључивања идентификована је у стручној литератури и пракси постројења за припрему минералних сировина као један од водећих алата који се користи у циљу унапређења рада система аутоматског управљања, као и резултата процеса припреме минералних сировина у целини. Тренд употребе fuzzy логичких контролера у управљању различитим индустријским процесима је у порасту, нарочито када је ријеч о сложеним процесима.

Примјена fuzzy логичких принципа у пракси подразумијева апроксимацију и математичку формализацију сложених интеракција улазних и излазних промјенљивих. Практично, подразумијева се да је за адекватну примјену неопходно формирање одговарајућег fuzzy логичког модела посматраног процеса. У овом смислу, процес дефинисања модела чишћења угља у машинама таложницама се пресудно ослања на теоријске поставке гравитацијске концентрације, односно проучавање кретања зрна у условима ометаног падања уз уважавање хетерогености минералних сировина у овом случају узроковане гранулометријским саставом и саставом по фракцијама различитих густина зрна.

**Циљ докторске дисертације** је унапређење примјене и развоја интелигентних система контроле и управљања процесима у рударству односно процесима сепарације на бази разлике у физичким својствима угља и јалових минерала у поступку гравитацијске концентрације угља. У ужем и практичном смислу, циљ истраживања је формирање и валидација математичког модела чишћења угља у флуиду вода, односно у машинама таложницама, примјеном савремених рачунарских технологија и принципа те техника базираних на fuzzy логичким системима закључивања.

У складу са дефинисаним предметом и значајем истраживања, те актуелним светским трендовима у области моделовања процеса у овој докторској дисертацији постављене су **двије радне хипотезе** и то:

- На бази експерименталних података о минерално-петрографском саставу, физичко-хемијским и структурно-текстурним карактеристикама ровног угља, чистог угља и јаловине, као и карактеристика машине могу се изабрати процесне карактеристике машине за оптималне резултате процеса,
- Контролисањем и управљањем промјењивим улазно-излазним параметрима у процесу сепарације у машинама таложницама путем управљачког система заснованог на fuzzy логици, може се на ефикасан начин управљати процесом и остварити технолошко унапређење бољом оштрином одвајања угља и јалових минерала, са бољим технолошким и економским резултатима као крајњим исходом.

## **Резултати претходних истраживања**

У оквиру истраживања приказаних у дисертацији, извршена је обимна и детаљна анализа литературних извора, са чак 265 цитираних референци, од којих се велики број односи непосредно на примјену fuzzy логичких система закључивања у припреми минералних сировина. Fuzzy логички системи закључивања користе се у готово свим доменима рада у припреми минералних сировина – од мијешања производа концентрације или чишћења угља у циљу добијања производа одређених својстава до моделирања флотацијске концентрације. У литературним изворима се разматрају модели свих фаза и подфаза процеса све до разматрања нпр. избора локације јаловишта. У дисертацији је дат приказ истраживања са аспекта:

- Fuzzy моделирања и примјене fuzzy логике у управљању и моделирању,
- Развоја fuzzy контролера
- Истраживања посебно интересантних са аспекта примјене теоријских постулата fuzzy логике у раду постројења за гравитацијску концентрацију, односно чишћење угља.

Аутори су током посљедњих двадесетак година радили на већем броју проблема који се тичу примјене fuzzy логике и fuzzy система закључивања а који се могу сматрати значајним са аспекта предметне дисертације. Од непосредног значаја прије свега се издвајају референце које се односе на развој fuzzy модела за управљање фреквенцијом и амплитудом пулсација у сврху оптимизације процеса стратификације у машини таложници и референце које се односе на употребу fuzzy контролера за регулисање динамике допремања угља у машину таложници. Нарочито су значајни аспекти истраживања који се тичу унапређења динамике процеса таложења као и уштеда са аспекта потрошње енергије. Литературни извори представљају резултате рада на fuzzy моделима пулсација воде у машинама таложницама са резултатима који говоре о потенцијалним унапређењима контроле пулсација уз помоћ предложених модела.

## **Допринос тезе у рјешавању изучаваног предмета истраживања**

За досадашња истраживања примјене fuzzy логичких система закључивања у области чишћења угља у флуиду вода карактеристичан је парцијални приступ, вођен прагматичним потребама одређених постројења за чишћење угља. Поред тога, осим изузетака наведених у дисертацији, примјетан је изостанак цјеловитих хијерархијских модела који би приступили проблему моделовања процеса гравитацијске концентрације на системски начин. У складу са тим, а према литературним изворима, до сада није реализован цјеловити фази модел чишћења угља у машинама таложницама.

У оквиру резултата предметне дисертације приказан је развој и валидација првог таквог цјеловитог модела који интегрише fuzzy логички контролер у процес чишћења угља у машинама таложницама. На основу симулације реалног процеса развијене у програму MATLAB показан је квалитет апроксимације постављеног fuzzy модела и доказана хипотеза о могућности унапређења квалитета вођења процеса чишћења угља уз помоћ fuzzy модела.

Из овога слиједи да резултати дисертације представљају одличну основу за даља истраживања примјене концепта fuzzy логике у области како чишћења угља, тако и гравитацијске

концентрације уопште.

### **Очекивани научни и прагматични доприноси дисертације**

На основу изложених резултата дисертације, могу се очекивати доприноси на нивоу научних истраживања, као и практичне примјене развијеног fuzzy модела, односно доприноси на научном и стручном нивоу. Како је већ речено, представљени фази модел са симулацијом процеса чишћења угља представља први цјеловити модел чишћења угља у машинама таложницама и као такав носи изузетан теоријски значај, обзиром на сложеност фазификације процеса припреме минералних сировина по „вертикали“ и „хоризонтали“. Такође, са аспекта прагматичног доприноса, реализација приказаног модела кроз развој и имплементацију предложеног fuzzy контролера донијела би, уз релативно мала улагања, унапређење процеса чишћења у оквиру РМУ „Бановићи“ повећањем адаптибилности система аутоматског управљања који је тренутно имплементиран.

1. Ahmed M. M., 2011. Optimization of A Jigging Process Using Statistical Technique, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 31:2, 112-123
2. Aplan, F.F. 2003. Gravity concentration. In: Principles of Mineral Processing. Edited by Fuerstenau M.C. and Han K.N., Littleton, CO: SME. pp. 185–219.
3. Arnold B. J., Klima M. S., Bethell P. J., 2007. Designing the coal preparation plant of the future, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration
4. Asakura K., Nagao M., Mizuno M. Harada S., 2007, Numerical Simulation of Particle Motion in a Jig Separator. In ASME/JSME 2007 5th Joint Fluids Engineering Conference (pp. 385-391). American Society of Mechanical Engineers.
5. Baade C., 2010. Enhanced process control – maximizing coal handling preparation plant productivity, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 30: 239–251,
6. Babuška, R., 1998. Fuzzy modeling for control. Springer Science & Business Media.
7. Bandopadhyay, S., 1987. Fuzzy algorithm for decision making in mining engineering. Geotechnical and Geological Engineering, 5(2), pp.149-154.
8. Beck A. J. G., Holtham P. N., 1993. Computer simulation of particle stratification in a two-dimensional batch jig, Minerals Engineering, Vol. 6, No. 5, pp. 523-536
9. Bede B., 2013. Mathematics of Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Springer
10. Беновић Т. Л., 2013. Фази моделиовање чишћења угља у аутогеној суспензији, Докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет Београд
11. Bergh, L., 2016. Artificial Intelligence in Mineral Processing Plants: An Overview.
12. Bhattacharya S., Maheshwari A., Panda M., 2016. Coal Cleaning Operations: The Question of Near Gravity Material, Transactions of the Indian Institute of Metals, Volume 69, Issue 1, pp 157-172
13. Brožek M., Surowiak A., 2010. Argument of Separation at Upgrading in the Jig. Archives of Mining Sciences, 55(1), pp.21-40.
14. Burt, R. O., 1999. The role of gravity concentration in modern processing plants, Minerals Engineering, Vol. 12, No. 11, pp. 1291-1300
15. Cierpisz S., 2015. Control systems of coal products discharge from a jig. Mining-Informatics, Automation and Electrical Engineering, 53.

16. Cierpisz S., Kryca, M. Sobierajski, W., 2016. Control of coal separation in a jig using a radiometric meter. Minerals Engineering, 95, pp.59-65.
17. Cooper B. R., Ellingson W. A., 1984. The Science and Technology of Coal and Coal Utilization, Plenum Press, New York
18. Crespo E. F., 2016. Modeling segregation and dispersion in jiggling beds in terms of the bed porosity distribution, Minerals Engineering 85, 38–48
19. Ђалић Н. 1990. Теоретске основе припреме минералних сировина, Рударско-геолошки факултет Београд
20. Darling P., 2011. Mining Engineering Handbook, 3rd edition Vol I & II, SME
21. De Aguiar J. M. E., 2015. Phenomenological Numerical Modelling of a Mineral Jig using Parallel Processing, Doctoral thesis, University of Porto, Portugal
22. Dieudonné V., Jonkers A., Loveday G., 2006. An approach to confidently predicting jiggling performance, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy
23. DU Chang-long and LIN Ming-xing, 2002. A fuzzy control system of the variable construction for the feeding coal in the jiggling process. Journal of Coal: English, 8(1), pp.107-109.
24. Dubois D., Nguyen H. T., Prade H., Sugeno M., 1998. Fuzzy Systems - Modeling and Control, The Springer Handbook Series on Fuzzy Sets
25. Fallon N. E., Gottfried B. S., 1985. Statistical representation of generalized distribution data for float-sink coal-cleaning devices: Baum jigs, Batac jigs, Dynawirlpools, International Journal of Mineral Processing, Volume 15, Issue 3, Pages 231-236
26. Filo G., 2010. Modelling of fuzzy logic control system using the MATLAB SIMULINK program, Politechniki Krakowskiej
27. Flintoff B., 2002. Introduction to process control, in Mular, A. L., Bhappu R. B., 2002. Mineral processing plant design, practice, and control, Proceedings, 2nd ed., Society for Mining, Metallurgy and Exploration
28. Ford M. A., King R. P., 1984. The simulation of ore-dressing plants. International Journal of Mineral Processing, 12(4), pp.285-304.
29. Galvin, K. Iveson, S.M., 2013. Cleaning of coarse and small coal in: Osborne D., 2013. In: The coal handbook: Towards cleaner production, Coal Production, Woodhead Publishing Limited
30. Gegov, A., 2007. Complexity management in Fuzzy systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
31. Guillaneau J. C., Villeneuve J., Durance M. V., Brochot S., Fourniguet G., 1995. Simulation Improvements in Mineral Processing, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review
32. Gupta A., Yan D. S., 2016. Mineral Processing Design and Operations. An Introduction, Second edition, Elsevier
33. Gupta V., Mohant M.K., 2006. Coal preparation plant optimization: A critical review of the existing methods, Int. J. Miner. Process. 79, pp. 9–17
34. Гутић С. 2007. Анализа радова дробиличног постројења ровног угља и утјецај на квалитет оплемењивања у сепарацији РМУ Бановићи, магистарски рад, РГГФ Тузла
35. Harris, J., 2005. Fuzzy logic applications in engineering science. Springer Science & Business Media.
36. Herbst J. A., Flintoff B., 2012. Recent Advances in Modeling, Simulation, and Control of Mineral Processing Operations. In: Separation Technologies for Minerals, Coal, and Earth Resources, Editors: Young C. A., Luttrell G. H. International Symposium on Separation Technologies for Minerals, Coal, and Earth Resources, Part of the 2011 SME Annual Meeting.
37. Hodouin D., 2011. Methods for automatic control, observation, and optimization in mineral processing

- plants, Journal of Process Control 21, 211–225
- 38. Honaker Q., Forrest W. R., 2003. Advances in gravity concentration, Society for Mining
  - 39. Horikawa S., Takeshi Furuhashi, Yoshiki Uchikawa, 1992. On fuzzy modeling using fuzzy neural networks with the back-propagation algorithm, IEEE Transactions on Neural Networks, Volume 3, Issue 5
  - 40. Игњатовић М., Магдалиновић С., Милановић Д., Урошевић Д., 2011. – Угље - Индустриска припрема и технологије чишћења, Бор
  - 41. Ilischner B., Grant N. J. Russell K. C., 1991. Materials Beneficiation, Springer New York, Charles Burroughs Gill
  - 42. Jamsa-Jounela S.L., 2001. Current status and future trends in the automation of mineral and metal processing, review, Control Engineering Practice 9, pp. 1021–1035
  - 43. Јевремовић Ч., 1984. Припрема минералних сировина, РГФ Тузла
  - 44. Jonas R.K., Craw I.A., 2012. Paradigm Shift in Advanced Control for Mining. In: Separation Technologies for Minerals, Coal, and Earth Resources, Editors: Young C. A., Luttrell G. H. International Symposium on Separation Technologies for Minerals, Coal, and Earth Resources, Part of the 2011 SME Annual Meeting.
  - 45. Јовановић И., 2015. Модел интелигентног система адаптивног управљања процесом прераде руде, Докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет Београд
  - 46. Karr C. L., Weck B., 1996. Computer modelling of mineral processing equipment using fuzzy mathematics, Minerals Engineering, Vol. 9, No. 2, pp. 183-194
  - 47. Kesimal A., 2002. Application of fuzzy multiple attribute decision making in mining operations, Mineral Resources Engineering, Vol. 11, No. 1
  - 48. King R. P., 2012. Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems 2nd ed, SME
  - 49. Кнежевић Д., 2001. Припрема минералних сировина, РГФ Београд
  - 50. Kovacic Z., Bogdan S., 2005. Fuzzy controller design: theory and applications (Vol. 19). CRC press.
  - 51. Kuang Y. L., Xie J. X., Ou Z. S., 2004. Properties of a Jigging Bed Analyzed with a High Speed Analyzer, Coal Preparation Volume 24, Issue 5-6
  - 52. Laskowski, J.S., 2001. Coal preparation. Developments in mineral processing, 14, p.1-8.
  - 53. Leonard J. W., Hardinge B. C., 1991. Coal Preparation - 5th edition, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Littleton, CO, ISBN 0 – 87335-104-5
  - 54. Li X., Abbott J., 1993. Simulation of the Jigging Process, Coal Preparation, 13:3-4, 197-207
  - 55. Lind, P., Yalcin, T. and Butcher, J., 2003. Computer simulation of the Bullmoose coal preparation plant. Coal Preparation, 23(3), pp.129-145.
  - 56. Liu Y., Xie J., Zhang M. Kuang Y., 2016. Study on the Model System of Jig with Flexible Air Chamber and Pulsating Current Characteristics. In XVIII International Coal Preparation Congress 28 June—01 July 2016. Saint-Petersburg, Russia, Springer International Publishing
  - 57. Lovell H. L., Moorehead R. G., Luckie P. T., Kindig J. K. 1991. Hydraulic concentration, in Coal Preparation, 5th ed., Leonard J. W., Hardinge B. C., 1991. Society of Mining Engineers, Littleton, 1991, pp. 301-367.
  - 58. Luttrell G. H., 2013. Optimization, simulation and control of coal preparation plants. In The Coal Handbook: Towards Cleaner Production: Coal Production (pp. 560-586).
  - 59. Lyman G. J., 1992. Review of Jigging Principles and Control, Coal Preparation, 11:3-4, 145-165
  - 60. Majumder A. K., Barnwal J. P., Ramakrishnan N., 2004. A New Approach to Evaluate the Performance of Gravity-Based Coal Washing Equipment, Coal Preparation, 24: 277–284,

61. Malhotra D., Taylor P. R., Spiller E., LeVier M., 2009. Recent advances in mineral processing plant design, Society for Mining, Metallurgy and Exploration
62. Mamdani, E.H., 1974. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. In Proceedings of the Institution of Electrical Engineers (Vol. 121, No. 12, pp. 1585-1588). IET.
63. Matia F., Marichal G.N., Jiménez E. eds., 2014. Fuzzy Modeling and Control: Theory and Applications. Paris, France, Atlantis Press.
64. Meech J. A., 2006. The evolution of intelligent systems in the mining industry, Mineral Process Modelling, Simulation and Control
65. Mehrotra S. P., Mishra B. K. 1997. Mathematical modeling of particle stratification in jigs
66. Мильановић И., 2008. Фази логичко управљање процесима у припреми минералних сировина, Монографија, Рударско-геолошки факултет Београд
67. Мильановић И., Вујић С., 2013. Фази логика у рударству, Академија инжењерских наука Србије и Рударски институт Београд
68. Mishra B.K., Adhikari B., 1999. Analysis of fluid motion during jigging. Minerals engineering, 12(12), pp.1469-1477.
69. Mishra B.K., Chakroborty P., 1995. Explorations into fuzzy logic control of stratification in jig (No. CONF-9510120--). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton, CO (United States). In: Proceedings of the XIX International Mineral Processing Congress: Comminution and simulation and control
70. Mukherjee A. K., Dwivedi V. K., Mishra B. K., 2005. Analysis of a laboratory jigging system for improved performance, Minerals Engineering 18, pages 1037–1044
71. Mukherjee A. K., Mishra B. K., 2006. An integral assessment of the role of critical process parameters on jigging, International Journal of Mineral Processing, Volume 81, Issue 3, Pages 187–200
72. Napier-Munn T.J., Lynch A.J., 1992. The modelling and computer simulation of mineral treatment processes — current status and future trends, Minerals Engineering, Vol. 5, No. 2, pp. 143-167
73. Niedoba T., 2013. Statistical analysis of the relationship between particle size and particle density of raw coal. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 49.
74. Noble A., Luttrell G. H., 2015. Review of state-of-the-art processing operations in coal preparation, International Journal of Mining Science and Technology
75. Oki T., Hazumi T., Umemiya Y. Kobayashi M., 2010. Influence of Water Pulsation with Different Frequency and Amplitude on Orbit of a Particle Placed on a Fixed Screen. Materials transactions, 51(1), pp.156-164.
76. Osborne D., 2013. The coal handbook: Towards cleaner production, Woodhead Publishing Limited
77. Ottley, D. J., 1986. Gravity Concentration In Modern Mineral Processing, In: Mineral Processing at a Crossroads: Problems and Prospects, Edited by Wills B. A., Barley R.W.
78. Петровић М. 2008. Припрема и оплемењивање угљена, РГГФ Тузла
79. Петровић,М.; Гутић,С.; Гутић,К.; Квалитет оплемењеног угљена на Сепарацији РМУ "Бановићи" у функцији гранулометријског састава ровног угљена, Међународни рударски симпозиј, Дубровник 2006. године.
80. Pielot J., Pielucha, W., 2016. Analysis of effects of coal enrichment in jigs at changing grain composition of the feed, Mining Informatics, Automation and Electrical Engineering, R. 54, nr 2, 48-54
81. Pismensky A. Ulshin V., 2014. Synthesis of extreme control system of coal cleaning in jigs. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, 14(2).
82. Polulyakh O.D., D.O. Polulyakh, V.I. Chmiley, Yu. N. Filippenko, 2010. Hydraulic Jigging with

- Horizontal-Stationary alluvial Bottom layer In: Honaker Q., 2010. International Coal Preparation Congress 2010 conference proceedings - Society for Mining, pages 333-339
- 83. Пројектна и техничка документација РМУ "Бановићи" д.д. Бановићи
  - 84. Rao B. V., 2007. Extension of particle stratification model to incorporate particle size effects, Int. J. Miner. Process. 85 (2007) 50–58
  - 85. Rong R. X. Lyman G. J., 1993. A new energy dissipation theory of jig bed stratification. Part 1: Energy dissipation analysis in a pilot scale baum jig (pages 165-188), Part 2: A key energy parameter determining bed stratification (pages 189-207), International Journal of Mineral Processing
  - 86. Sbárbaro D., del Villar R., 2010. Advanced Control and Supervision of Mineral Processing Plants, Springer-Verlag London Limited
  - 87. Sivanandam S. N., Sumathi S., Deepa S. N., 2007. Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB, Springer
  - 88. Srinivasan R., Mishra B. K., Mehrotra S. P., 1999. Simulation of Particle Stratification in Jigs, Coal Preparation, 20:1-2, 55-70
  - 89. Steiner, H.J., 1996. A contribution to the theory of jigging, Part 1: Similarity criteria of the motion of jig layers. Minerals engineering, 9(6), pp.675-686.
  - 90. Sugeno, M. Tanaka, K., 1991. Successive identification of a fuzzy model and its applications to prediction of a complex system. Fuzzy sets and systems, 42(3), pp.315-334.
  - 91. Suresh, N., Vanangamudi, M. and Rao, T.C., 1996. A performance model for water-only gravity separators treating coal. Fuel, 75(7), pp.851-854.
  - 92. Surowiak A., Brozek M., 2016. A physical model of separation process by means of jigs, Physicochemical Problems of Mineral Processing 52, 228–243
  - 93. Takagi, T., Sugeno, M., 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, (1), pp.116-132.
  - 94. Tavares L. M., 1999. Monte Carlo Simulations on the Potential Energy Theory of Jigging, Coal Preparation, 20:1-2, 71-83
  - 95. Turner, J. F., 1991. Gravity concentration, past, present and future. Minerals Engineering, 4(3-4), pp.213-223.
  - 96. Viduka S. M., Feng Y. Q., Hapgood K., Schwarz M. P., 2013. Discrete particle simulation of solid separation in a jigging device, International Journal of Mineral Processing, Volume 123, Pages 108-119
  - 97. Wills B. A., 2016. Mineral Processing Technology, 8-th edition, Butterworth Press
  - 98. Witteveen, H. J. 1995. The response of a uniform jig bed in terms of the porosity distribution, Doctoral dissertation, TU Delft, Delft University of Technology.
  - 99. Woollacott, L. C., 2018. On the size dependence of the King stratification index, Minerals Engineering 124 (2018) 86–97
  - 100. Xia Y. K. Peng F. F., 2007. Numerical simulation of behavior of fine coal in oscillating flows. Minerals engineering, 20(2), pp.113-123.
  - 101. Ya-Li K., Jin-Wu Z., Li W., Chao Y., 2008. Laws of motion of particles in a jigging process, Journal of China University of Mining & Technology 18, 0575–0579
  - 102. Yin, X., He, Z., Niu, Z., Li, Z. S. 2018. A hybrid intelligent optimization approach to improving quality for serial multistage and multi-response coal preparation production systems. Journal of manufacturing systems, 47, 199-216.
  - 103. Yordanova S., Tsekova R., Tabakova B., Mladenov V., 2007. MATLAB Real-Time Two-Level Fuzzy Control of Nonlinear Plant, Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on SYSTEMS.

Agios Nikolaos, Crete Island, Greece, July 23-25

104. Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. Information and control, 8(3), pp.338-353.
105. Zadeh, L.A., 1996. Towards a theory of fuzzy systems. Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A. Zadeh, pp.83-104.
106. Zilouchian A., Jamshidi M., 2001. Intelligent control systems using soft computing methodologies, CRC Press IMAM
107. Zimmermann, H. J., 2006. Fuzzy set theory—and its applications. Springer Science & Business Media.

Пуна листа литературних извора и преглед досадашњих истраживања дати су у самој дисертацији.

- 1) Укратко истаћи разлог због којих су истраживања предузета и представити проблем, предмет, циљеве и хипотезе;
- 2) На основу прегледа литературе сажето приказати резултате претходних истраживања у вези проблема који је истраживан (водити рачуна да обухвата најновија и најзначајнија сазнања из те области код нас и у свијету);
- 3) Навести допринос тезе у рјешавању изучаваног предмета истраживања;
- 4) Навести очекivanе научне и прагматичне доприносе дисертације.

## V МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

### Примијењене методе истраживања

Предмет истраживања у оквиру дисертације припада области примијењеног системског инжењерства у припреми минералних сировина. Поред стандардних метода истраживања као што су прикупљање и анализа литературних извора или анализа података, у овој дисертацији су примијењене и методе развоја и примјене алгоритамских структура као и развоја fuzzy логичких моделских структура.

Постројење сепарације РМУ „Бановићи“ кориштено је као огледно са аспекта валидације развијених fuzzy логичких моделских структура. Резултати истраживања су исказани табеларно, графички, у форми алгоритма, као и кроз симулациони модел развијен у модулу MATLAB – SIMULINK.

Промјене у плану истраживања представљеном приликом пријаве докторске тезе

План истраживања је на почетку израде подразумијевао пет фаза, кроз које је и реализован рад на дисертацији. Одступања од плана истраживања су изнуђена изостанком података са постројења РМУ „Ђурђевик“. Имајући међутим у виду профил постројења сепарације и степен сличности постројења са огледном сепарацијом РМУ „Бановићи“, може се оцијенити да ово одступање није имало негативног утицаја на резултате дисертације.

### Поузданост истраживања

Методе које је кандидат користио а које су и предвиђене планом и програмом рада на дисертацији су стандардне за овакав тип истраживања и могу се оцијенити као адекватне и поуздане:

- Прикупљање, анализа и синтеза литературних извора
- Анализа података са опитног постројења
- Развој логичке и алгоритамске структуре fuzzy модела.

Подаци са опитног постројења који су употребљени у развоју модела су прикупљени и анализирани на адекватан начин. Такође, презентација истраживања и резултата развоја модела заслужују похвале. Изложени ток истраживања, анализа и изведені закључци су одговарајући и у складу са актуелним достигнућима и трендовима у предметној области.

#### **Адекватност статистичке обраде података**

У оквиру припреме и развоја fuzzy логичког модела кориштене су методе дескриптивне статистике док су у оквиру анализе резултата и утврђивања предиктивних својстава модела кориштене регресиона анализа и анализа варијанса (ANOVA). Све методе кориштене су на коректан начин, примјерено обиму истраживања и података.

- 1) Објаснити материјал који је обрађиван, критеријуме који су узети у обзир за избор материјала;
- 2) Дати кратак увид у примијењени метод истраживања при чemu је важно оцјенити сљедеће:
  1. Да ли су примијењене методе истраживања адекватне, довољно тачне и савремене, имајући у виду достигнућа на том пољу у свјетским нивоима;
  2. Да ли је дошло до промјене у односу на план истраживања који је дат приликом пријаве докторске тезе, ако јесте зашто;
  3. Да ли испитивани параметри дају довољно елемената или је требало испитивати још неке, за поуздано истраживање;
  4. Да ли је статистичка обрада података адекватна.

## **VI РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС ИСТРАЖИВАЊА**

#### **Резултати истраживања приказани у докторској дисертацији**

Резултати истраживања приказани су у поглављу 6 – „Fuzzy модел постројења за чишћење угља у машинама таложницима“. У поглављу је изложен fuzzy логички симулациони модел чишћења угља у машинама таложницима, развијен на основу података сепарације РМУ „Бановићи“. Добијени исходи могу се класификовати у три целине:

- Фазификација процесних промјењивих.
- Израда fuzzy логичког модела процеса чишћења.
- Симулација и валидација модела.

Осјетљиви процес фазификације изведен је на аналитичан и свеобухватан начин. Ово је неопходно истаћи, обзиром да се у литературним изворима могу примијетити различити приступи овом проблему. Посебна пажња посвећена је статистичким параметрима, односно праћењу показатеља рада постројења на основу чега су и идентификоване улазне и излазне промјењиве. На основу ових одредница, утврђене су троугласте и трапезасте функције припадности и одређене границе лингвистичких промјењивих.

Fuzzy логички модел развијен је на основу резултата исхода прве целине и базе fuzzy

правила. Формирани fuzzy логички модел демонстрираје везе између улазних и излазних fuzzy логичких промјењивих и на овај начин постао основа за развој fuzzy логичког контролера који има потенцијал примјене у аутоматском управљању одговарајућим постројењем у индустриским условима.

Симулациони модел и резултати поређења вриједности добијених симулационим моделом и параметара квалитета угља поријеклом из постројења у реалном раду представљају трећу цјелину исхода дисертације. На основу приказаних резултата, развијени fuzzy логички модел представља одличну апроксимацију реалног система, односно постројења за чишћење угља сепарације РМУ „Бановићи“. Високом корелацијом између стварних и моделских вредности потврђена су и предиктивна својства развијеног fuzzy логичког модела.

### **Представљање резултата**

Резултати дисертације представљени су на одговарајући начин. Као што је већ речено, резултати истраживања су исказани табеларно, графички, у форми алгоритма, као и кроз симулациони модел развијен у модулу MATLAB – SIMULINK.

Кандидат је у процесу тумачења резултата приступио проблему на начин на који је то испољавао у цијелој дисертацији: систематично, аналитично и критички. Као и код развоја свих модела, будући да је реч о апстракцији реалног система, постоје ограничења у примјењивости а која се односе на поузданост и квалитет података из реалног процеса, адекватан процесни алгоритам и коректна израчунавања и фазификацију моделских параметара.

### **Нова сазнања, њихов теоријски и практични допринос**

Резултати до којих је кандидат дошао а који су приказани у дисертацији представљају значајан допринос примјени fuzzy логичких модела у припреми минералних сировина. Моделирање процеса у припреми минералних сировина представља сложен задатак који подразумијева рад са великим бројем промјењивих стохастичке природе. Историјски, моделирање оваквих процеса током 20. вијека уклапа се у концепт развоја моделирања уопште, при чему се, на основу нових сазнања, тежиште концепта помијера од традиционалних модела бијеле кутије односно феноменолошких модела ка моделима црне односно тамно сиве кутије којима припадају и fuzzy логички модели. С тим у вези, моделирање понашања машине таложнице у процесу гравитацијске концентрације минералних сировина, односно чишћења угља, представља значајан корак ка потпунијем сагледавању и разумијевању процеса, а посљедично и ка ефикаснијем и по другим параметрима унапријеђеном управљању у индустриским условима.

Приказана истраживања потврђују статус fuzzy логичких алата као изузетно корисних и значајних за моделирање и симулацију процеса са великим бројем улазних промјењивих. Истовремено, капацитет ових модела за баратање са „big data“ је у одређеним ситуацијама значајно већи од капацитета који посједују „класични“ модели.

### **Препоруке будућих истраживања**

Резултати приказани у дисертацији имају и значајне импликације на опредељења будућих истраживача. На одређени начин, а упркос великим броју литературних извора, истраживања у оквиру ове дисертације представљају пионирски допринос, обзиром да позитивни резултати указују на могућност вертикалне имплементације fuzzy логике и fuzzy логичких модела у постројењу за припрему минералних сировина. Како је оптимизација у индустријском постројењу стални задатак који се не може реализовати у потпуности, јасно је да даља истраживања примјене fuzzy логичких модела у припреми минералних сировина и сродним пословно-технолошким целинама представљају значајну грану будућег стабла истраживања.

У практичном погледу, херметичност неких производних система, настала као последица аутоматизације и освита четврте индустријске револуције не подржава повећање простора за истраживања ове врсте „*in situ*“. Ипак, за очекивати је да истраживања утицаја fuzzy логичког вођења процеса (путем имплементације логичких fuzzy контролера нпр.) а преко усклађивања техничких параметара буду предмет истраживања у непосредној будућности.

- 1) Укратко навести резултате до којих је кандидат дошао;
- 2) Оцијенити да ли су добијени резултати јасно приказани, правилно, логично и јасно тумачени, упоређујући са резултатима других аутора и да ли је кандидат при томе испољавао довољно критичности;
- 3) Посебно је важно истаћи до којих нових сазнања се дошло у истраживању, који је њихов теоријски и практични допринос, као и који нови истраживачки задаци се на основу њих могу утврдити или назирати.

## **VII ЗАКЉУЧАК И ПРИЈЕДЛОГ**

На основу детаљне анализе дисертације кандидата, мр сц. Рузмира Авдића под називом „Моделирање гравитацијске концентрације угља примјеном Fuzzy логике“ и приказа материјала и метода рада те резултата и научних доприноса истраживања приказаних на претходним странама, може се закључити следеће:

- Предметна дисертација је самостални научноистраживачки рад кандидата из области примјене рачунарства и системског инжењерства у припреми минералних сировина,
- Циљеви израде ове дисертације су остварени у потпуности, а постављене хипотезе доказане,
- Допринос докторске дисертације се прије свега огледа у формирању fuzzy логичког модела чишћења угља у машини таложници.
- Дисертација је јасно написана и логично документована. Резултати су јасно

приказани и дефинисани а постављена хипотеза је јасно аргументована.

- Циљ истраживања је успјешно реализован а најважнији резултати истраживања су валидовани кроз практичну употребу на приказаном примјеру Рудника "Бановићи".
- Дисертација представља висок ниво оригиналног научног рада јер је провјером оригиналности , у складу са актима Универзитета, утврђен индекс сличности мањи од 1 %.

На основу изнесеног, комисија позитивно оцјењује докторску дисертацију „Моделирање гравитацијске концентрације угља примјеном Fuzzy логике“ кандидата mr. sc. Рузмира Авдића и са задовољством предлаже Наставно-научном вијећу да је прихвати а кандидату одобри њену јавну одбрану.

- 1) Навести најзначајније чињенице што тези даје научну вриједност, ако исте постоје дати позитивну вриједност самој тези;
- 2) На основу укупне оцјене дисертације комисија предлаже:
  - да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана,
  - да се докторска дисертација враћа кандидату на дораду (да се допуни или измијени) или
  - да се докторска дисертација одбија.

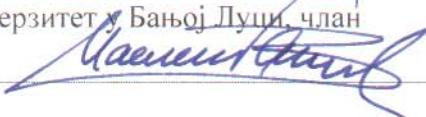
#### ПОТПИС ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Датум: 30. 10. 2019. године

1. др. Зоран Штирбановић, доцент,  
ужа научна област „Припрема минералних сировина”,  
Технички факултет Бор, Универзитет у Београду,  
предсједник



2. др. Владимир Малбашић, редовни професор  
ужа научна област „Површинска експлоатација  
минералних сировина”, Рударски факултет Приједор,  
Универзитет у Бањој Луци, члан



3. др. Аднан Хоџић, ванредни професор  
ужа научна област „Рударска и бушотинска експлоатација  
минералних сировина”, Рударско-геолошко-грађевински  
факултет Тузла, Универзитет у Тузли, члан

