

## ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: Весна Каровић Маричић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују за учешће у Комисији за одбрану докторске дисертације:

1. Danilovic D., Karovic Maricic V., Elhaddad N., Lekovic B.: *An oilfield in Li bya: A new model to enhance waste water disposal*, Energy & Environment, Volume 27, Number 6-7, 2016, pp. 704–712, ISSN: 0958305X, <https://doi.org/10.1177/0958305X16674403>, IF(2016)=0,302.
2. Karovic Maricic, V., Danilovic, D., Lekovic B., Crnogorac, M.: *Energy policy reforms in the Serbian oil sector: An update*, Energy Policy, Volume 113, 2018, pp 348-355, ISSN 0301-4215, DOI: 10.1016/j.enpol.2017.11.011, IF (2018)= 4,880.
3. Crnogorac M., Tanasijevic M., Danilovic, D., Karovic Maricic, V., Lekovic B.: *Selection of Artificial Lift Methods: A Brief Review and New Model Based on Fuzzy Logic*, Energies 2020, 13(7), 1758; <https://doi.org/10.3390/en13071758>, IF (2020)=3,004.
4. Tomic L., Karovic Maricic, V., Danilovic, D.: *The preliminary selection of oil reservoir in Serbia for carbon dioxide injection and storage by a multicriteria decision-making approach: a case study*, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 2021, 1-15, Taylor & Francis, DOI: 10.1080/15567036.2021.1936303, IF (2021)= 2,49.
5. Stanisavljevic B., Karovic Maricic V., Isakov I.: *Development and evaluation of fracture gradient curve model: a case study of south-central Kazakhstan*, International Journal Of Oil Gas And Coal Technology, (2023), vol. 32 br. 2, pp. 126-140, DOI: 10.1504/IJOGCT.2023.128042, IF (2022)= 0,723.

**ДЕКАН**

Рударско-геолошког факултета

---

Проф. др Александар Цвјетић

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме члана комисије: проф. др Милош Танасијевић

Звање: Редовни професор, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду

Списак радова који квалификују за учешће у Комисији за одбрану докторске дисертације:

1. Gomilanovic Miljan, Tanasijevic Milos, Stepanovic Sasa, Miletic Filip (2023) A Model for Determining Fuzzy Evaluations of Partial Indicators of Availability for High-Capacity Continuous Systems at Coal Open Pits Using a Neuro-Fuzzy Inference System, ENERGIES, vol. 16, br. 7, str. - (Article)  
**M23, IF=3**, DOI:10.3390/en16072958
2. Bugaric Ugljesa S, Tanasijevic Milos Lj, Djenadic Stevan P, Ignjatovic Dragan M, Jankovic Ivan| (2022) Development of the Cost-Based Model for Monitoring the Lifetime of the Earth Moving Machines, MACHINES, vol. 10, br. 11, str. - (Article)  
**M22, IF=2,6**, DOI:10.3390/machines10110995
3. Djenadic Stevan P, Tanasijevic Milos Lj, Jovancic Predrag D, Ignjatovic Dragan M, Petrovic Dejan V, Bugaric Ugljesa S| (2022) Risk Evaluation: Brief Review and Innovation Model Based on Fuzzy Logic and MCDM, MATHEMATICS, vol. 10, br. 5, str. - (Review)  
**M21, IF=2,4**, DOI: 10.3390/math10050811
4. Petrovic Dejan V, Tanasijevic Milos Lj, Stojadinovic Sasa S, Ivaz Jelena S, Stojkovic Pavle Z (2020) Fuzzy expert analysis of the severity of mining machinery failure, APPLIED SOFT COMPUTING, vol. 94, br. , str. - (Article)  
**M21a, IF=6,725**, DOI: 10.1016/j.asoc.2020.106459
5. Tanasijevic Milos Lj, Jovancic Predrag D, Ivezic Dejan D, Bugaric Ugljesa S, Djuric Radisa| (2019) A Fuzzy-Based Decision Support Model for Effectiveness Evaluation - a Case Study of the Examination of Bulldozers, INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING-THEORY APPLICATIONS AND PRACTICE, vol. 26, br. 6, str. 878-897 (Article)  
**M23, IF=0,460**,  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85077962939&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s>

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

---

Проф. др Александар Цвјетић

## ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: Предраг Јованчић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују за учешће у Комисији за одбрану докторске дисертације:

1. Savkovic, S., Jovancic, P.D., 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 Systems with Applications, 201, 117199. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117199> (M21a; IF:8,5)
2. Miletic, F.M., Jovancic, P.D., Milovancevic, M.D. et al. (2022) *Determining the Impact of Cutting Elements State on the Bucket–Wheel Excavator Vibration and Energy Consumption*. J. Vib. Eng. Technol. (2022). <https://doi.org/10.1007/s42417-022-00482-3> (M22; IF:2,7)
3. Djenadic, S., Tanasijevic, M., Jovancic, P., Ignjatovic, D., Petrovic, D., Bugarcic, U. (2022) *Risk Evaluation: Brief Review and Innovation Model Based on Fuzzy Logic and MCDM*. Mathematics, 10, 811. <https://doi.org/10.3390/math10050811> (M21a; IF:2,4)
4. Miletić F., Jovančić P., Milovančević M., Ignjatović D. (2020), *Adaptive neuro-fuzzy prediction of operation of the bucket wheel drive based on wear of cutting elements*, Journal Advances in Engineering Software, 146 (2020) 102824, <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2020.102824> (M21; IF:4,141)
5. Pantelić M, Jovančić P, Ristić L, Bebić M, (2019), *Concrete base influence on the increased vibrations level of the mill drive system elements – A case study*, Journal of Engineering Failure Analysis 106 (2019) 104178. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104178> (M21; IF:2,897)

**ДЕКАН**

Рударско-геолошког факултета

---

Проф. др Александар Цвјетић

## ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: Александар Маџаревић

Звање: Доцент

Списак радова који квалификују за учешће у Комисији за одбрану докторске дисертације:

1. Madzarevic Aleksandar, Ivezic Dejan, Zivkovic Marija, Tanasijevic Milos, Ivic Milica, *Assessment of vulnerability of natural gas supply in Serbia: State and perspective*, ENERGY POLICY, ELSEVIER SCI LTD, 121, pp. 415 - 425, 0301-4215, 10.1016/j.enpol.2018.06.037, OXFORD, Oct 2018. IF 9.3
2. Živković M., Pereverza K., Pasichnyi O., Madžarević A., Ivezić D., Kordas O., "Exploring scenarios for more sustainable heating: The case of Niš", Energy 115, pp.1758-1770. Elsevier 2016 ISSN:0360-5442 DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.en> IF 9
3. Madžarević, Aleksandar R.; Ivezić, Dejan D.; Tanasijević, Miloš L.; Živković, Marija A. 2020. "The Fuzzy–AHP Synthesis Model for Energy Security Assessment of the Serbian Natural Gas Sector." Symmetry 12, no. 6: 908. <https://doi.org/10.3390/sym12060908> IF 2.3
4. Ivezic, D., Zivkovic, M., Madžarević, A., Grujić, M. *Assessments of effects of implementation of strategic plans for development of Belgrade district heating system*, Sustainable Cities and Society, 2020, Volume 61, 2020, 102304. DOI: [10.1016/j.scs.2020.102304](https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102304) IF 10.5
5. Aleksandar R. Madžarević, Predrag Jovančić, Stevan P. Đenadić, Filip M. Miletić, Miodrag I. Ristović, Miroslav P. Crnogorac, *Anticipated sulfur dioxide emissions from coal-fired power plants*, 2025, Thermal Science, Volume 29, Issue 1A, <https://doi.org/10.2298/TSCI240308167M> IF 1.7

**ДЕКАН**

Рударско-геолошког факултета

---

Проф. др Александар Цвјетић

## ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: Александар Миливојевић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују за учешће у Комисији за одбрану докторске дисертације:

1. **(M22)** Mirjana Stamenić, Timotei Bogdan Bacoş, **Aleksandar Milivojević**, Vuk Adžić, Mihaela Ciopec, Nicoleta Sorina Nemeş, Adina Negrea and Adrian Eugen Cioablă,  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Functionalized with Lithium Ions Especially Useful as Inert Catalyst Bed Supports, *Molecules* 2025, 30(3), 577; <https://doi.org/10.3390/molecules30030577> - 27 Jan 2025, IF 4,2.
2. **(M21)** David León, Isabel Amez, Miloš Radojević, Nebojša Manić, Dragoslava Stojiljković, **Aleksandar Milivojević**, Javier García-Torrent and Blanca Castells, Emissions and Fire Risk Assessment of Nitrocellulose as a Sustainable Alternative in Pyrotechnic Compositions, *Fire* 2024, 7, 265., ISSN 2571-6255, <https://doi.org/10.3390/fire7080265>, IF 3,0.
3. **(M22)** Adžić, V., **Milivojević, A.**, Stamenić, M., Adžić, M.: Investigation of Carbon Dioxide Diluted Methane and Propane Swirling Premixed Flames Using CH\* Chemiluminescence Imaging, *Thermal Science*, Vol. 23, Suppl. 5, S1511-S1521, 2019. DOI:10.2298/TSCI180312375A, IF 1.475.
4. **(M22)** **Milivojević, Aleksandar M.**, Miroljub M. Adžić, Milan D. Gojak, Mirjana S. Stamenić, and Vuk M. Adžić: Analysis of the performance of a low-power atmospheric burner for gas appliances for households and their impact on the emission and stability of the burner, *Thermal Science* 2020 OnLine-First, Issue 00, Pages: 302-302, 2020. , DOI:10.2298/TSCI200717302M, IF 1.701.
5. **(M23)** **Milivojević, A.**, Adžić, M., Adžić, V., Stamenić, M.: Methodology of Experimental Optimization of Atmospheric Burners for Household Appliances, *THERMAL SCIENCE*, (2024), vol. 28 br. 1, str. 569-577, DOI: 10.2298/TSCI230410156M. IF 1,1.

**ДЕКАН**

Рударско-геолошког факултета

---

Проф. др Александар Цвјетић

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
**Рударско-геолошки факултет**  
**Наставно-научном већу**

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета бр. 1/69 од 01.04.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Бојана Мартиновића, маг. инж. рударства, под насловом:

**ИНОВАТИВНА МЕТОДОЛОГИЈА МАШИНСКОГ УЧЕЊА ЗА ДИЈАГНОСТИКУ РАДА ДУБИНСКЕ ПУМПЕ НА КЛИПНИМ ШИПКАМА**

Након прегледа достављене докторске дисертације, Комисија подноси следећи

**ИЗВЕШТАЈ**

**1. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ И ДИСЕРТАЦИЈИ**

Кандидат Бојан Мартиновић, маг. инж. рударства, рођен је 19.10.1988. у Зрењанину. Има четрнестогодишње искуство у нафтној индустрији.

Каријеру је започео као млађи производни инжењер у НИС Газпром Нефт-у на нафтном пољу Велебит у Србији, где је надгледао рад 150 бушотина са системима механичке производње и три еруптивне бушотине. Водио је теренски тим од 10 људи, развијајући техничке вештине и способност вођења тима у динамичном окружењу. У ПМ Лукас, од јануара 2013. до јануара 2016. године, био је одговоран за припрему извештаја о бушотинама, управљање базом података и дизајнирање опреме за експлоатацију нафте и гаса, као и за анализу проблема у производњи тешке нафте. Од јануара 2016. до марта 2017. године, као главни специјалиста за аналитику у НИС Газпром Нефт, фокусиран је на дизајн опреме за дубинске пумпе на клипним шипкама, анализу проблема механичке производње и израду анализа промене темпа производње. Такође је био задужен за развој и имплементацију софтвера "Шахматка систем" за надзор и анализу бушотина. У периоду од марта 2017. до октобра 2018. године, обављао је функцију вође тима за аналитику, управљајући тимом од пет људи и развијајући алгоритме за решавање производних проблема. Од септембра 2018. године, на позицији руководиоца сектора за технологију производње у НТЦ НИС Нафтагас-у, одговоран је за надзор производње, развој оперативних стратегија и учешће у изради технолошке стратегије компаније.

Током своје каријере, Бојан Мартиновић је радио на различитим пројектима широм Источне Азије, Блиског Истока и Европе, који су обухватили развој поља, интегрисано моделирање производње, операције производње, дизајн и примену механичких метода експлоатације. Тренутно се његов рад фокусира на укључивање техника обраде података у оквир производње нафте и гаса, те како се оне могу користити за унапређење пословних модела компанија.

Као аутор или коаутор у току и пре докторских студија публиковао је 6 научних радова у часописима на СЦИ листе и 2 рада у часописима категорије M50.

### **Наслов и обим дисертације**

Наслов докторске дисертације кандидата Бојана Мартиновића, маг. инж. рударства гласи: *„Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама“*.

Дисертација садржи:

- 130 страна рачунарски обрађеног текста А4 формата, укључујући додатке, односно 108 страна текста без додатака,
- 70 слика и дијаграма у текстуалном делу дисертације,
- 5 табела у текстуалном делу дисертације,
- 1 прилог (графици),
- 90 литературних извора коришћених у дисертацији.

### **Хронологија одобравања и израде дисертације**

Кандидат Бојан Мартиновић, маг. инж. рударства је пријавио тему докторске дисертације под насловом *„Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама“*, на Рударско-геолошком факултету, Универзитета у Београду, 11.12.2023. године (пријава број 1/437).

На основу пријаве теме докторске дисертације, Катедра за експлоатацију нафте, гаса и технику дубинског бушења предложила је Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду покретање поступка за именовање Комисије за оцену научне заснованости докторске дисертације кандидата (број 1/438 од 11.12.2023. године).

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду (бр 1/441 од 25.12.2023.) именована је Комисија у саставу: проф. др Душан Даниловић, дипломирани рударски инжењер, Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду проф. др Весна Каровић Маричић, дипломирани рударски инжењер, Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду, доц. др Мирослав Црногорац, дипломирани рударски инжењер, Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду, доц. др Александар Маџаревић, мастер инжењер машинства и проф. др Александар Миливојевић, дипломирани машински инжењер, Машински факултет, Универзитет у Београду.

Кандидат је пред формираном Комисијом, 19.02.2024. године бранио предложену тему, након чега је Комисија саставила извештај о научној заснованости теме докторске дисертације (извештај број 1/27).

На основу извештаја који је Комисија саставила, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 29.02.2024. године донело је одлуку број 1/47 од 05.03.2024. године којом се усваја извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Бојана Мартиновића, маг. инж.

рударства и одобрава израда докторске дисертације под насловом „*Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама*“, а за ментора именује проф. др Душана Даниловића, ванредни професор.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 18.03.2024. године донело је одлуку број 61206-996/2-24 којом се даје сагласност на предлог теме кандидата Бојана Мартиновића, под насловом „*Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама*” и потврђује менторство проф. др Душану Даниловићу.

Кандидат Бојана Мартиновића, маг. инж. рударства је 21.02.2025. године поднео молбу број 1/17 за именовање Комисије за оцену докторске дисертације под насловом „*Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама*“. Уз молбу кандидат је поднео сагласност ментора за предају урађене докторске дисертације (број 1/18 од 21.02.2025. године). Катедра за експлоатацију нафте, гаса и технику дубинског бушења је упутила допис број 1/42 од 06.03.2025. године Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду са предлогом Комисије за оцену докторске дисертације у саставу: проф. др Весна Каровић Маричић, дипломирани рударски инжењер, проф. др Милош Танасијевић, дипломирани инжењер рударства, проф. др Предраг Јованчић, дипломирани инжењер рударства, доц. др Александар Мадаревић, мастер инжењер машинства, сви са Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и проф. др Александар Миливојевић, дипломирани машински инжењер са Машинског факултета Универзитета у Београду

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 01.04.2025. године донело је одлуку број 1/69 од 01.04.2025. године којом се потврђује предлог матичне Катедре и именује Комисија за оцену докторске дисертације, чиме су испуњени услови за писање предметног Извештаја о урађеној докторској дисертацији.

### **Место дисертације у одговарајућој научној области**

Докторска дисертација кандидата Бојана Мартиновића, маг. инж. рударства, припада научној области „Рударско инжењерство“, односно ужој научној области „Инжењерство нафте и гаса“ за коју је матичан Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду. За ментора докторске дисертације одређен је др Душан Даниловић, ванредни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду (до сада је као аутор или коаутор публикувао преко 170 радова, од којих 21 са референтне SCI листе, *h-индекс*: 8, цитираност радова 277). Компетентност именованог 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.

## 2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Предмет истраживања предложене теме дисертације представља примену машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама. У експлоатацији нафте, почетна фаза често укључује производњу нафте кроз процес познат као еруптивна фаза. Ова фаза ослања се на унутрашњу енергију лежишта, која када је довољна, омогућава веома економичну и профитабилну производњу флуида. Како се притисак лежишта постепено смањује, показујући се као недовољан да надокнади кумулативне губитке притиска током успона флуида до површине, јавља се кључна потреба за подизањем флуида са дна бушотина на површину. Ово се постиже применом механичких метода експлоатације.

Механичке методе експлоатације, неопходне за континуирану производњу нафтних бушотина, углавном се сврставају у две основне категорије: пнеуматске методе, које користе гас за подизање флуида и методе које укључују примену механичких пумпи. Код примене пумпи истиче се систем дубинске пумпе на клипним шипкама.

Системи дубинске пумпе на клипним шипкама издвајају се својом широком применом у нафтној индустрији, где служе као примарно решење за производњу флуида када природна енергија лежишта није довољна. Са процењених 90% бушотина са неком од механичких метода у раду, ови системи се широко примењују и карактерише их поузданост, оперативна ефикасност и прилагодљивост у разним применама. Кључно за оптимално функционисање и анализу ових система је дијагностички алат познат као динамометарска картица. Ове картице нуде графички приказ оптерећења глатке шипке у функцији положаја - служећи као откривајући објектив у сложеној динамици целокупног пумпног система и омогућавајући инжењерима доношење одлука заснованих на подацима како би одржали интегритет и перформансе система.

Искориштавање динамометарске картице у дијагностици клипних пумпи на клипним шипкама је сложено, јер облици картица одражавају интегритет пумпе, сваки са својим карактеристичним потписом. То чини ручну дијагнозу не само заморном и зависном од стручности техничких лица већ и дуготрајним процесом који захтева специјализовано знање.

Током последњих неколико деценија, развој модела машинског учења (МЛ) привукао је значајну пажњу, у обради различитих типова података па самим тим и података у нафтној индустрији. Да би се испитала примена машинског учења у аутоматској детекцији проблематике рада пумпе са динамограма извршиће се следећи кораци:

1. Прикупљање свих податка и сортирање динамограма према проблематици, укупно 11 проблематика.
2. Креирање 11 различитих модела машинског учења
3. Анализа сваког модела и одабир најбољег модела
4. Упоредивање резултата модела са резултатима дијагностике динамограма млађег и старијег инжењера
5. Објашњавање на који део динамограма се модел фокусира када врши анализу и даје решење

Први корак биће да се изврши сортирање 6000 динамограм картица према проблемима које се уочавају на картицама, након тога прикупљање свих производних податка о раду дубинске пумпе као што су брзина пумпања, дужина хода клипа у цилиндру, пречник пумпе, дужина клипа, дужина цилиндра и остало.

Након тога, темељно ће се креирати и евалуирати једанаест различитих модела дубоког учења, укључујући два модела трансформатора вида и девет конволуцијских неуронских мрежа, прилагођених за класификацију једанаест јединствених класа динамограма. Сваки модел треба да прође свеобухватну процену како би се измерила његова предиктивна тачност и ефикасност.

Циљ истраживања је да се 11 модела дубоког учења упореде са резултатима инжењерских експерата у области анализе динамограма. Потребно је да се упореде како се МЛ мери са инжењерских вештинама и знањем, пажљиво анализирајући где МЛ модели постижу тачност а где греше, како би се уочиле њихове снаге и слабости. Ово поређење ће пружити драгоцене увиде у то како и инжењери и машине тумаче динамограме, помажући да се разуме шира слика.

Научни допринос током израде ове дисертације огледа се у следећем:

- Унапређење разумевања примене модела дубоког учења у нафтној индустрији: Истраживање ће пружити нове увиде у могућности и ограничења примене напредних техника машинског учења, посебно дубоког учења, у анализи динамограма. Ово ће обогатити постојећу литературу о примени вештачке интелигенције у нафтној индустрији.
- Развој и евалуација специјализованих модела дубоког учења: Креирање и тестирање једанаест модела дубоког учења за класификацију различитих проблема динамограма доприносе практичном пољу машинског учења, нудећи моделе који могу бити прилагођени и примењени у стварним индустријским окружењима.
- Побољшање дијагностичких алата за нафтне бушотине: Истраживање има потенцијал да знатно унапреди ефикасност и тачност дијагностичких процеса у нафтној индустрији, што може довести до бољег одржавања опреме и смањења времена застоја.
- Транспарентност у процесима доношења одлука модела дубоког учења: Употребом Grad-Cam методе, истраживање ће омогућити боље разумевање 'црне кутије' дубоког учења, пружајући транспарентан приказ процеса доношења одлука модела.
- Компаративна анализа инжењерских и машинских способности у интерпретацији динамограма: Ово истраживање ће допринети бољем разумевању снага и слабости инжењерског у поређењу са приступом машинског учења у анализи динамограма, омогућујући развој хибридних система који комбинују најбоље од оба приступа.
- Пружање смерница за даља истраживања: Резултати и закључци истраживања могу бити темељ за будућа истраживања, посебно у вези са интеграцијом машинског учења у различите аспекте нафтне индустрије и даљим развојем интелигентних дијагностичких система.

### 3. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ И ПОЛАЗНИ ПОДАЦИ

Планирано је да истраживачки рад на дисертацији буде заснован на следећим хипотезама:

- Применом модела дубоког учења могуће је идентификовати специфичне обрасце и карактеристике у динамограмима који су кључни за дијагностику проблема у нафтним бушотинама.
- Коришћењем Grad-Cam методе могуће је расветлити 'црну кутију' модела дубоког учења, пружајући транспарентност и боље разумевање процеса доношења одлука ових модела.
- Модели дубоког учења, које укључују неуронске мреже, могу надмашити инжењере у прецизности и брзини анализе и интерпретацији динамограма.
- Модели дубоког учења могу прецизно класификовати динамограме и идентификовати проблеме у раду дубинских пумпи, чиме се повећава ефикасност и тачност дијагностике у односу на традиционалне методе.
- Ниво компетенција појединца има велики утицај на резултат дијагностике рада дубинске пумпе на клипним шипкама.

### 4. ОПИС САДРЖАЈА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Бојана Мартиновића садржи следећа основна поглавља:

1. Увод,
2. Механичке методе експлоатације нафте,
3. Систем дубинске пумпе на клипним шипкама,
4. Дијагностика рада дубинске пумпе на клипним шипкама,
5. Развој методологије машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама,
6. Резултати примењене методологије машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама),
7. Закључак

Поред наведених поглавља, докторска дисертација садржи и Сажетак на српском и енглеском језику, Садржај, Литературу, Списак слика и табела, 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 потпоглавља.

#### Кратак приказ појединачних поглавља

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

**Прво поглавље** (стр. 10-17) пружа детаљно објашњење контекста експлоатације лежишних флуида и значаја механичких метода у одржавању континуитета производње нафте. Приказује прелаз са еруптивних метода на примену дубинских пумпи када природна енергија лежишта постане недовољна, уз нагласак на важност дијагностике ових пумпних

система. Посебна пажња посвећена је динамометарској картици као кључном дијагностичком алату који омогућава ефикасно праћење стања рада пумпе. Такође, у поглављу се разматра проблематика "црне кутије" модела машинског учења и потреба за транспарентношћу у доношењу одлука, што је кључно за њихово усвајање у инжењерској пракси. Приказан је и преглед релевантне литературе о развоју модела машинског учења, са фокусом на њихове примене у анализи динамограма, као и на изазове њихове интеграције и употребе у нафтној индустрији. Поред тога приказани су и очекивани доприноси дисертације и структура докторске дисертације.

**Друго поглавље** (стр. 20-23) пружа преглед механичких метода експлоатације објашњавајући основну поделу на еруптивну производњу и механичке методе. Еруптивна метода ослања се на природну енергију лежишта, док механичке методе укључују додавање енергије како би се осигурао континуитет производње када притисак лежишта постане недовољан. Фокус је стављен на два главна приступа механичке експлоатације: дубинско пумпање, које укључује различите врсте пумпи као што су СРП, ПЦП, хидрауличне и ЕСП пумпе, и гас лифт технику, која користи ињектирање гаса за подизање флуида.

**Треће поглавље** (стр. 23-47) приказан је преглед подземне и надземне опреме која чини систем дубинске пумпе на клипним шипкама. Сваки елемент система детаљно је описан у погледу принципа рада, физичког изгледа и карактеристика материјала од којих је израђен. На тај начин, поглавље пружа темељно разумевање опреме која омогућава рад дубинских пумпи на клипним шипкама, наглашавајући важност правилног одабира и одржавања опреме за оптималне перформансе система.

**Четврто поглавље** (стр. 48-72) обухвата принцип рада дубинских пумпи на клипним шипкама и опис дијагностике рада пумпе кроз дијагностички алат – динамограм. Представљена је анализа идеалних услова рада помоћу динамограма, као и идентификација одступања која могу указивати на потенцијалне проблеме у раду пумпе. Описане су карактеристике идеалног динамограма, где су сви вентили и клипови у беспрекорном стању, омогућавајући паралелограмски облик оптерећења који одражава равнотежу у систему. Свако одступање од овог идеалног облика сигнализира специфичне неправилности као што су блокада гасом, истрошеност пумпе, пропуштање потисног вентила, или удар у горњем и доњем положају.

Даље, поглавље истражује различите обрасце динамограма који карактеришу специфичне проблеме, објашњавајући на који начин сваки од њих може утицати на стабилност и ефикасност рада. На пример, блокада гасом може спречити потисни вентил да се правилно отвори, док висока вискозност флуида утиче на пренос оптерећења кроз вентил, што се све јасно читава на динамограму. Приказани су и примери динамограма за сваки тип неправилности, уз детаљна објашњења.

**Пето поглавље** (стр. 73-84) детаљно приказује развој методологије машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама. На почетку је описан скуп података, који укључује динамограме прикупљене током двогодишњег периода из бушотина у западном региону Србије. Приказан је процес систематске категоризације динамограма према различитим врстама проблема, како би се осигурала поузданост и прецизност података. Затим су представљени модели машинског учења (ML) коришћени за

класификацију динамограма: DenseNet, ResNet, Vision, Transformer, и Grad-CAM. Сваки модел је изабран због својих специфичних карактеристика, које омогућавају препознавање сложених образаца и прилагођавање високој резолуцији слике. У овом делу, посебна пажња је посвећена Grad-CAM методи која омогућава визуелизацију одлука модела, чиме се побољшава интерпретабилност резултата.

Поглавље такође обухвата подешавање параметара модела, где су примењени специфични хиперпараметри како би се постигла оптимална ефикасност. На крају, приказана је свеобухватна шема методологије, која приказује кораке од екстракције динамограма, преко њихове класификације, до визуелне интерпретације одлука модела, пружајући систематичан приступ дијагностици рада дубинских пумпи на клипним шипкама.

**Шесто поглавље** (стр. 85-109) представља резултате примене методологије машинског учења на задатом скупу података динамограма. У четири сегмента приказани су кључни аспекти истраживања. Први део поглавља посвећен је перформансама различитих МЛ модела. Анализиране су метрике тачности и остали показатељи учинка, уз поређење различитих модела, што је допуњено конфузионом матрицом за детаљан увид у класификационе способности модела. Други део приказује резултате инжењерских експерата при ручној класификацији истог скупа података. Овим се истичу разлике и сличности у приступу и перформансама између МЛ модела и експерата различитих нивоа експертизе. У трећем делу врши се упоредна анализа између резултата МЛ модела и инжењерских експерата, како би се идентификовале предности и изазови сваког приступа, као и могућности њихове синергије. Коначни део се фокусира на интерпретацију модела уз помоћ Grad-CAM методе. Ова техника омогућава визуелизацију кључних области слике на које се модел ослања приликом доношења одлука, чиме се пружа додатна транспарентност и увид у начин рада модела.

Закључна разматрања приказана су у **седмом поглављу** (стр. 110-113). Дат је осврт на примену модела машинског учења за аутоматску класификацију динамичких оптерећења дубинских пумпи, са циљем унапређења процеса дијагностике у производњи нафте. Образложени су главни разлози за истраживање могућности примене ових модела, укључујући убрзање анализе и смањење субјективности традиционалних метода.

Наведени су главни закључци добијени кроз анализу 14 различитих МЛ модела, међу којима су конволуционе неуронске мреже (DenseNet, ResNet) и визуелни трансформатори (ViT). Посебан осврт дат је на прецизност најуспешнијих модела, при чему је ResNet34\_h\_2 постигао највећу тачност од 0.945, док је примена Grad-CAM методе омогућила бољи увид у доношење одлука модела.

Приказани су резултати упоредне анализе рада МЛ модела и инжењерских експерата, где је утврђено да модели значајно скраћују време потребно за анализу – са неколико десетина сати на један минут – уз задржавање високе тачности.

На крају је размотрена успешност и применљивост предложеног приступа у контексту аутоматизоване дијагностике дубинских пумпи, као и могућност даљег усавршавања модела ради постизања већих прецизности у детекцији сложених кварова. Литературни извори који су коришћени у дисертацији наведени су у наставку докторске дисертације. Након тога су дати списак слика, списак табела и прилози.

## 5. ОСТВАРЕНИ РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС

### Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација кандидата Бојана Мартиновића, маг. инж. рударства под насловом „Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама“ представља савремен и оригиналан истраживачки рад који се фокусира на развој и евалуацију модела ML за аутоматизовану класификацију динамиграма у контексту експлоатације нафте и гаса, посебно у коришћењу система дубинске пумпе на клипним шипкама. Ова дисертација доприноси дубљем разумевању могућности примене ML модела у оптимизацији процеса производње нафте, нудећи нове методе за брзу и прецизну дијагностику проблема у раду пумпи, што представља значајан корак ка ефикаснијој и поузданијој експлоатацији лежишних флуида.

У почетној фази експлоатације лежишних флуида, еруптивна метода се често користи за подизање флуида на површину, користећи енергију лежишта. Међутим, како притисак лежишта опада, неопходно је прећи на механичке методе експлоатације, као што су системи дубинске пумпе на клипним шипкама. Ови системи омогућавају континуирану производњу флуида са високом поузданошћу и оперативном ефикасношћу, али захтевају прецизну анализу динамиграма за процену интегритета система. Традиционална метода анализе динамиграма, која се ослања на експертну процјену инжењера, је временски захтевна и субјективна, што инспирише потребу за аутоматизацијом овог процеса.

У оквиру дисертације, истраживање је обухватило прикупљање и сортирање 5093 динамиграма, који су класификовани према карактеристичним проблемима у раду пумпе, као што су „Добар рад пумпе“, „Блокада гасом“, „Еруптивни рад“ и други. Затим је развијено и тестирано 14 различитих ML модела, укључујући конволуционе неуронске мреже (DenseNet, ResNet) и моделе визуелних трансформатора (ViT). Примена метода машинског учења омогућила је значајно убрзање процеса класификације, са временом анализе од само једног минута у поређењу са 16 до 40 сати потребних за експертну анализу. Најбољи модели, као што су ResNet34\_h\_2 и DenseNet161\_h\_1, постигли су тачност од 0.945 и 0.932, респективно, што је значајно превазишло перформансе инжењера почетног и средњег нивоа стручности.

Један од кључних доприноса дисертације је имплементација методе мапирања активације класе пондерисаног градијента (Grad-CAM), која је омогућила визуелну интерпретацију процеса доношења одлука ML модела. Ова метода је решила проблем „црне кутије“ тако што је приказала на које делове динамиграма се модел фокусирао приликом класификације, чиме је побољшано разумевање и поверење у резултате. Овај приступ је такође олакшао идентификацију потенцијалних грешака и недоследности у раду модела.

Док су ML модели показали импресивне резултате у брзини и прецизности, дисертација је истакла да они не могу у потпуности заменити инжењерску експертизу. Инжењерско знање и способност уочавања сложених образаца су неопходни за валидацију резултата и доношење коначних одлука, посебно у случајевима када је присутно вишеструких проблема

у раду пумпе. У том смислу, предложена је интеграција МЛ модела и инжењерске експертизе у хибридне моделе, који би комбиновали предности оба приступа.

Резултати истраживања су показали да МЛ модели могу значајно убрзати и побољшати тачност класификације динамиграма, што представља велики корак ка оптимизацији процеса производње нафте. Међутим, истраживање је такође указало на ограничења, као што су потешкоће у класификацији динамиграма са вишеструким проблемима и потенцијалне погрешне класификације у случајевима сродних класа. Ова ограничења отварају простор за будућа истраживања, укључујући развој хибридних модела, унапређење класификације сложених случајева и примену нових архитектура и алгоритама машинског учења.

Укратко, дисертација је допринела теоријском и практичном развоју примене МЛ модела у индустрији нафте и гаса, нудећи нове методе за аутоматизовану дијагностику динамиграма и оптимизацију процеса експлоатације. Развијени модели су универзални и примењиви на различите системе дубинског пумпања на клипним шипкама, што их чини значајним доприносом не само у области производње нафте, већ и у ширем контексту енергетске ефикасности и одрживости.

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 *„Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама“*, кандидата Бојана Мартиновића, маг. инж. рударства, констатујемо да је према првобитном добијеном извештају утврђено укупно подударање текста износило 2%. 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 у потпуности представља резултат оригиналног научно-истраживачког рада кандидата.

### **Оцена способности кандидата за самосталан рад**

Кандидат Бојан Мартиновић је током израде ове докторске дисертације показао да поседује потребне способности и вештине за самосталан научно-истраживачки рад. Формирање модела машинског учења за дијагностику рада дубинских пумпи, прикупљање и анализа података са реалних нафтних поља, као и интерпретација и анализа резултата, захтевају изражену аналитичност у раду и систематичност у приступу решавању проблема. Кандидат је на основу вишегодишњег рада и искуства у овој области стекао способност да у потпуности реализује планирано истраживање од формулације 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 Бојан Мартиновић у сваком погледу испунио услове који га квалификују као способног за даљи самостални научно-истраживачки рад.

## **Остварени научни допринос**

Циљ дисертације под називом „Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинских пумпи на клипним шипкама“ је да се научним методама анализира могућност примене машинског учења за аутоматизацију процеса дијагностике рада дубинских пумпи. Ова дисертација доприноси развоју нових метода за класификацију динамиграма, који су кључни за идентификацију проблема у раду пумпи, као што су заглава клипа, пропуштање вентила, блокада гасом и други.

Основно достигнуће докторске дисертације јесте развој методологије која интегрише технике машинског учења, као што су конволуционе неуронске мреже (CNN), ResNet и Vision Transformers (ViT), за класификацију динамиграма. Ова методологија омогућава прецизну и брзу идентификацију проблема у раду дубинских пумпи, што је од великог значаја за нафтну индустрију.

Дисертација доприноси смањењу неизвесности у процесу дијагностике рада пумпи, јер се улазни подаци за моделе машинског учења ослањају на емпиријски прикупљене податке са реалних нафтних поља. Овим се смањује потреба за експертским проценама, које су често субјективне и временски захтевне.

Тема коју докторска дисертација обрађује и методолошки приступ који је предложен и развијен у дисертацији су веома актуелни, имајући у виду данашње тенденције ка дигитализацији и аутоматизацији у нафтној индустрији. Остварени научни доприноси се најпре огледају кроз:

- Нова сазнања о могућностима примене машинског учења за дијагностику рада дубинских пумпи.
- Развој нових модела за класификацију динамиграма, који имају већу тачност у поређењу са традиционалним методама.
- Формулисање алгоритма и израда нове методологије за аутоматизацију процеса дијагностике.
- Квантификацију и анализу ефеката примене машинског учења у реалним условима рада нафтних поља.

## **Критичка анализа резултата истраживања**

Дијагностика рада дубинских пумпи на клипним шипкама је централна тема дисертације, а основни циљ дисертације се односи на квалитетније тумачење и вредновање проблема у раду пумпи кроз примену машинског учења. Тај циљ је остварен спровођењем истраживања усмереног на сакупљање података са реалних нафтних поља и развојем новог методолошког приступа који за резултат има прецизну класификацију динамиграма.

Коришћење предложеног приступа у целини може послужити као подршка у истраживању могућности промене структуре процеса дијагностике у нафтној индустрији. Предложени модел који се базира на машинском учењу је универзалан и може се прилагодити специфичностима различитих нафтних поља. Имајући у виду комплексност промена које

су предмет истраживања, као и реакција на промене у раду пумпи, оне се не могу симулирати у свој својој комплексности, али се помоћу развијеног приступа могу уочити трендови промена у раду пумпи и извући закључци о колективним обрасцима одлучивања у домаћинствима у околностима које су симулиране.

У целини гледано, истраживање о могућностима примене машинског учења за дијагностику рада дубинских пумпи, развијени модели и предложени приступ интеграције за подршку у процесу дијагностике представљају оригиналне доприносе ове дисертације. Они испуњавају услове научног истраживања – систематичност, контролисаност, објективност и поновљивост. Анализирајући карактеристике предложеног приступа за подршку дијагностици и добијене резултате, може се закључити да је примена овакве методологије оправдала циљ истраживања:

- Побројане предности предложене методологије обезбедиле су холистички приступ у анализи проблема у раду пумпи.
- Интеракције између различитих параметара осигурале су ефекат еволуције у понашању модела, што је резултирало већом прецизношћу у класификацији.
- Моделирање засновано на машинском учењу као примењена метода пружило је флексибилност у комбиновању широког спектра варијабли и њихову оцену кроз различите услове и сценарије.

Увидом у дисертацију, полазне хипотезе и постављене циљеве истраживања, те на основу прегледа релевантне литературе, сагледавања стања научних истраживања из области докторске дисертације, Комисија констатује да су резултати које је кандидат приказао у потпуности оправдали очекивања и одговорили на задатак постављен пријавом дисертације. Добијени резултати су оригинални, значајни и применљиви. Развијени модел и примењене методе представљају корак напред и добру основу за даља истраживања у области примене машинског учења у нафтној индустрији.

Комисија констатује да би имплементација методологије као пратећег алата у процесу дијагностике рада дубинских пумпи значајно допринела квалитету одлучивања о оптималним правцима оптимизације процеса експлоатације нафте и гаса. Увођење оваквог приступа у процес дијагностике значајно би допринело бољем сагледавању процеса рада пумпи, смањењу субјективности експертских процена и смањењу ослањања на традиционалне методе при евалуацији ефеката различитих инструмената или њихове комбинације.

### **Очекивана примена резултата у пракси**

Резултати истраживачког рада у оквиру докторске дисертације кандидата Бојана Мартиновића представљају значајан допринос у области примене машинског учења за дијагностику рада дубинских пумпи на клипним шипкама. Ови резултати имају потенцијал за примену у нафтној индустрији, посебно у оптимизацији процеса експлоатације нафте и гаса, као и у побољшању ефикасности и поузданости рада дубинских пумпи. Доприноси овог истраживања могу се применити у процесима аутоматизације дијагностике рада пумпи, што може довести до смањења трошкова одржавања и повећања продуктивности.

Верификација предложених модела машинског учења извршена је на основу реалних података прикупљених са нафтних поља у Србији. Развијени модели су тестирани на великом скупу динамиграма, који су ручно класификовани од стране стручњака са високим нивоом знања. Ова верификација је показала да модели машинског учења, посебно ResNet34\_h\_2, имају већу тачност и брзину у класификацији динамиграма у поређењу са резултатима експертне анализе. Ови резултати су добили и практичну примену, јер су показали да се машинско учење може користити за аутоматизацију процеса дијагностике, што је од великог значаја за нафтну индустрију.

Имајући у виду да је предложена методологија заснована на машинском учењу, валидација резултата је обављена кроз анализу осетљивости на различите параметре модела. У оквиру дисертације испитивана је осетљивост модела на промене у структури података, као и на различите хиперпараметре модела. Ова анализа је показала да су модели машинског учења робусни и способни да се прилагоде различитим условима рада дубинских пумпи.

Предложена методологија пружа могућност за даљу интеграцију са другим алатима за анализу података у нафтној индустрији. Резултати из модела машинског учења могу се користити за надоградњу постојећих система за праћење и контролу рада дубинских пумпи, што може допринети бољем планирању и оптимизацији процеса експлоатације.

### **Осврт на референтну и коришћену литературу**

При изради докторске дисертације коришћена је литература која обухвата 90 литературних јединица, укључујући научне радове, стручне публикације, стандарде и званичне статистичке изворе. Ова литература се односи на следеће области: примена машинског учења у нафтној индустрији, дијагностика рада дубинских пумпи на клипним шипкама, анализу динамиграма, теоријске основе машинског учења, методолошке приступе за интеграцију различитих техника машинског учења у процес дијагностике, доступне базе података и званичне статистике релевантне за предмет истраживања, као и примере најбољих пракси у области аутоматизације процеса у нафтној индустрији.

Кандидат Бојан Мартиновић, маг. инж. рударства, током свог истраживачког рада и израде докторске дисертације је објавио више радова из предметне области. Тиме се потврђује да је упознао и проучио значајан део релевантне литературе која се односи на: примену машинског учења у индустријским процесима, примену машинског учења у раду са дубинском опремом, дијагностику рада дубинских пумпи, анализу динамограма, коришћење софтверских алата за симулације и моделирање, као и испитивање ефикасности различитих метода машинског учења у реалним условима рада нафтних поља.

## **6. ОБЈАВЉЕНИ И САОПШТЕНИ РЕЗУЛТАТИ**

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

*Категорија M21a – Рад штампан у међународном часопису изузетних вредности*

- **Martinović, B.**; Bijanić, M.; Danilović, D.; Petrović, A.; Delibasić, B. Unveiling Deep Learning Insights: A Specialized Analysis of Sucker Rod Pump Dynamographs, Emphasizing Visualizations and Human Insight. *Mathematics* 2023, 11, 4782. <https://doi.org/10.3390/math11234782>, IF 2023=2,3, ISSN 2227-7390

Током израде докторске дисертације, кандидат је објавио више радова из предметне области као првопотписани аутор или коаутор у Научним часописима међународног значаја (M23), и Часописима националног значаја (M50). У наставку је дат приказ резултата који верификују рад кандидата из предметне области.

*Категорија M23 – Рад штампан у међународном часопису*

- **Martinovic B.**, Zivkovic M., Grubac B. (2021) Convective heat transfer in centrifugal pumps lifted wells: the case of South-Eastern Europe waxy wells, *International Journal of Oil Gas and Coal Technology*, DOI: 10.1504/IJOGCT.2021.10043281, IF 2023=0,6, ISSN 1753-3309.
- **Martinovic B.**, Danilovic D., Fadiga R., Grubac B. (2021) Productivity improvement with use of beam gas compressor: pilot test in Southeastern Europe mature field, *International Journal of Oil Gas and Coal Technology* 30/1, 46-62,, DOI: 10.1504/IJOGCT.2021.10040560, IF 2023=0,6, ISSN 1753-3309
- **Martinovic B.**, Djekic D., Isaev P. (2022) Linear-motor plunger pump increases lifting efficiency, *Oil & Gas Journal*. vol. 120 no. 12, 30-37, <https://www.ogj.com/exploration-development/article/14286683/linearmotor-plunger-pump-increases-lifting-efficiency>, IF 2022=0,1, ISSN 0030-1388.
- Petrovic M., **Martinovic B.**, Jesic M., Crnogorac M. (2023) Double traveling valve increases rod-pump efficiency, *Oil & Gas Journal*, <https://www.ogj.com/drilling-production/article/14302469/double-traveling-valve-increases-rod-pump-efficiency> IF 2022=0,1; ISSN 0030-1388.

*Категорија M52 - Рад у истакнутом часопису националног значаја*

- Zahirović, I., Danilović, D., & **Martinović, B.** (2020). Application of ESP pump with intelligent control system in well X. *Подземни Радови*, 37, 51–59. <https://doi.org/10.5937/podrad2037051z>
- Al - Jeboore, I., Milićević, D., **Martinović, B.**, & Ješić, M. (2023). Evaluation of immiscible CO<sub>2</sub> injection in high water production reservoir in the Pannonian basin. *Подземни Радови*, 42, 1–18. <https://doi.org/10.5937/podrad2342001a>
- **Martinovic, B.**, Stuchny, S., Repac, M., Andjusic, G., & Stevanovic, N. (2018). INTEGRATED APPROACH TO OPTIMIZING WELLS WITH SRP. *ПРОНЕФТЬ. Профессионально О Нефти*, 4, 64–66. <https://doi.org/10.24887/2587-7399-2018-4-64-66>

## 7. ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација „Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинских пумпи на клипним шипкама” кандидата Бојана Мартиновића, мастер инжењера рударства, поседује савремен, оригиналан и научно утемељен приступ у примени машинског учења за подршку у аутоматизацији процеса дијагностике у нафтној индустрији. Докторском дисертацијом су доказане полазне хипотезе и развијени су модели машинског учења за класификацију динамиграма и идентификацију проблема у раду дубинских пумпи. Ови модели су тестирани на реалним подацима са нафтних поља у Србији, што је омогућило њихову практичну примену и верификацију.

Модели машинског учења, као што су конволуционе неуронске мреже (CNN), ResNet и Vision Transformers (ViT), су развијени и оптимизовани за прецизну класификацију динамиграма. Ови модели су показали високу тачност у идентификацији проблема као што су заглава клипа, пропуштање вентила, блокада гасом и други. Наведене предности предложене методологије обезбедиле су холистички приступ у анализи проблема у раду дубинских пумпи и њиховој дијагностици, што је омогућило ефикасније планирање и оптимизацију процеса експлоатације нафте и гаса.

Предложени приступ је такође показао потенцијал за даљу примену у другим областима индустрије где је потребна аутоматизација процеса дијагностике и контроле. Ова методологија представља корак напред у области примене машинског учења у нафтној индустрији и пружа солидну основу за даља истраживања и развој нових технологија за аутоматизацију индустријских процеса.

На основу прегледа докторске дисертације, Комисија за оцену докторске дисертације закључује да докторска дисертација кандидата Бојана Мартиновића под насловом „**Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама**“ 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.

### **Предлог Комисије наставно-научном већу**

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 „**Иновативна методологија машинског учења за дијагностику рада дубинске пумпе на клипним шипкама**” кандидата Бојана Мартиновића, прихвати и изложи на јавни увид јавности и даље у складу са процедуром упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 08.05.2025.

### **ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:**

---

**др Весна Каровић Маричић, редовни професор**  
**Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет**

---

**др Милош Танасијевић, редовни професор**  
**Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет**

---

**др Предраг Јованчић, редовни професор**  
**Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет**

---

**др Александар Мацаревић, доцент**  
**Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет**

---

**др Александар Миливојевић, редовни професор**  
**Универзитет у Београду, Машински факултет**